СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМУ СОСТАВУ, ТЕПЛОВОЗАМ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДАМ

1

СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРО-ПОДВИЖНОМУ СОСТАВУ, ТЕПЛОВОЗАМ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДАМ

Том I

Под редакцией А. И. ТИЩЕНКО

МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1976

УДК 629.423/.424(031)

Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам. Под ред. А. И. Тищенко. Т. I. М., «Транспорт», 1976, 432, с.

В томе I книги приведены основные технические данные наиболее распространенных серий локомотивов и моторвагонного подвижного состава магистральных железных дорог СССР; даны сведения о конструкции механического и электрического оборудования, а также основные положения по расчету и выбору оборудования. Приведены рекомендации по рациональному использованию мощности локомотивов.

Справочник рассчитан на инженерно-технических работников, занимающихся эксплуатацией, ремонтом, проектированием и совершенствованием электровозов, тепловозов, электропоездов и дизель-поездов магистрального и промышленного транспорта.

Ил. 388, табл. 119.

Авторы разделов: I. Общие сведения — *А. И. Тищенко*; II. Электрическая и тепловозная тяга — *И. П. Исаев, Н. И. Панов*; III. Механическая часть электровозов, электропоездов, тепловозов и дизель-поездов — *В. Б. Медель, А. Н. Савоськин, В. Н. Хлебников*; IV. Дизели тепловозов и дизель-поездов — *Ю. С. Шаульский*; V. Гидравлические передачи тепловозов и дизель-поездов — *И. Ф. Семичастнов*; VI. Тормозное оборудование электроподвижного состава, тепловозов и дизель-поездов — *В. И. Крылов*; VII. Тяговые двигатели и главные генераторы — *М. Д. Находкин, С. Н. Красковская*; VIII. Тяговые трансформаторы, сглаживающие и переходные реакторы; IX. Силовые преобразовательные установки — *Б. Н. Тихменев, А. В. Каменев, Г. Г. Гомола*; X. Вспомогательные машины электроподвижного состава и тепловозов — *С. Н. Красковская*.

С $\frac{31802\text{-}519}{049\ (01)\text{-}76}$ 089-75 © Издательство «Транспорт», 1976.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Локомотивное хозяйство является одной из сложных и ответственных отраслей железнодорожного транспорта. Содержание в постоянной исправности локомотивов, выполнение больших объемов работ по их ремонту с минимальными затратами труда и наименьшими сбоями движения поездов возможны только при высокой квалификации руководящих и инженерно-технических работников локомотивного хозяйства, при знании ими последних достижений науки и техники.

Инженерно-техническому персоналу локомотивного хозяйства в повседневной работе требуются разнообразные сведения о конструкции, ремонте и эксплуатации локомотивов и моторвагонного подвижного состава, а также в необходимой степени и по смежным отраслям транспорта.

В настоящем справочнике, выпускаемом по просьбе Министерства путей сообщения, приведены сведения о современных конструкциях электровозов, тепловозов, электропоездов и дизель-поездов, об электрической передаче тепловозов на переменно-постоянном токе, применении силовых управляемых и неуправляемых вентилей с высокими параметрами для создания локомотивов с оптимальными технико-экономическими характеристиками. В нем даны также сведения о разработке и внедрении на локомотивах систем плавного регулирования скорости движения, повышении качества изоляции и внедрении в конструкции узлов локомотивов материалов, обладающих большой износоустойчивостью и менее подверженных разрушениям под воздействием окружающей среды, о способах защиты оборудования локомотивов в ненормальных режимах, испытании, ремонте, надежности и технико-экономической работе локомотивов и по другим вопросам, необходимым для решения практических задач.

Справочник составлен с учетом действующих Правил технической эксплуатации, государственных стандартов, технических условий и норм, правил, инструкций и приказов Министерства путей сообщения, результатов законченных научных исследований. Для удобства пользования справочник выпускается в двух томах.

Настоящий справочник окажет помощь работникам локомотивного хозяйства в улучшении эксплуатации и более полной реализации резервов электрической и тепловозной тяги для дальнейшего совершенствования работы железнодорожного транспорта.

Заместитель министра путей сообщения
А. Т. ГОЛОВАТЫЙ

I. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЛОКОМОТИВОВ И МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ СССР

На железных дорогах Советского Союза находятся в эксплуатации электроподвижной состав (э. п. с.) переменного и постоянного тока, тепловозы и дизель-поезда.

Напряжение на токоприемниках электровозов и электропоездов постоянного тока составляет 3 кВ, а на электроподвижном составе переменного тока равняется 25 кВ.

Из сравнительно большого количества типов локомотивов и электропоездов, находящихся в эксплуатации, к настоящему времени на дороги поступают локомотивы и моторвагонный подвижной состав серийного производства следующих типов:

электровозы грузовые восьмиосные ВЛ80^{т} переменного тока с реостатным торможением и ВЛ10 постоянного тока с рекуперативным торможением;

пассажирские шестиосные ЧС4^{т} переменного и ЧС2^{т} постоянного тока с реостатным торможением, поставляемые Чехословацкой Социалистической Республикой;

тепловозы грузовые двухсекционные 2ТЭ10Л, 2ТЭ10ЛВ, пассажирские шестиосные односекционные ТЭП60, маневровые ТЭМ2 с электрической передачей постоянного тока и грузовые двухсекционные 2ТЭ116 с электрической передачей переменно-постоянного тока;

электропоезда ЭР2 постоянного и ЭР9П переменного тока;

дизель-поезда ДР1М.

В производстве, в наладке и на испытаниях находятся опытные образцы локомотивов и моторвагонного подвижного состава.

электровозы ВЛ80^{в} и ВЛ80^{а} — восьмиосные грузовые переменного тока соответственно с вентильными и асинхронными тяговыми двигателями;

ВЛ83 — восьмиосный грузовой переменного тока с вентильными тяговыми двигателями и двухосными одномоторными тележками; ориентировочная мощность на ось 700—800 кВт;

ВЛ12 — восьмиосный постоянного тока на базе электровоза ВЛ10 с независимым возбуждением тяговых двигателей, рекуперативным торможением, с мощностью на ось 750—1050 кВт;

ЧС200 — пассажирский восьмиосный постоянного тока с мощностью на ось 750—1050 кВт;

электропоезда ЭР200, ЭР12, ЭР27, ЭР30 и др.;

тепловозы ТЭ121 грузовой, ТЭП70 пассажирский и ТЭМ7 маневровый с электрической передачей переменно-постоянного тока и маневровый ТЭМ2М с электрической передачей постоянного тока.

Для участков постоянного тока с напряжением в контактной сети 6 кВ (Закавказская дорога) выпущены опытные электровозы и электропоезда с импульсным регулированием напряжения в режиме тяги и электрического торможения.

Основные технические данные электровозов, тепловозов магистральных и маневровых, моторвагонного подвижного состава и дизель поездов приведены в табл. 1-1 — 1-6.

Таблица 1-1

Основные технические данные электровозов постоянного тока

Показатели	Электровоз серии							
	ВЛ22^{м}	ВЛ23	ВЛ8	ВЛ10	ЧС2	ЧС3	ЧС2^{т}
Год начала выпуска	1941	1956	1956	1961	1959	1960	1972
Год окончания выпуска	1958	1961	1967	—	[illegible]	1961	—
Род службы	Грузовой				Пассажирский		
Осевая формула	3_0+3_0	3_0+3_0	$2_0+2_0+2_0+2_0$	$2_0-2_0-2_0-2_0$	3_0-3_0	2_0-2_0	3_0-3_0
Сцепной вес, тс	132	138	184	184	126	85	126
Нагрузка от оси на рельсы, тс	22	23	23	23	21	21,25	21
Мощность часового режима, кВт	2 400	3 150	4 200	5 200	4 200	2 800	4 620
» продолжительного режима, кВт	2 075	2 820	3 760	4 500	3 710	2 440	4 080
» касательная на расчетном подъеме, кВт	3 444	4 120	5 495	5 650	5 665	3 920	—
Сила тяги часового режима, кгс	23 900	26 400	35 260	39 540	16 500	14 300	19 000
» » продолжительного режима, кгс	20 300	22 700	30 330	32 000	13 700	11 900	16 000
» » касательная на расчетном подъеме, кгс	34 300	34 900	46 500	46 500	16 000	15 000	—
Скорость часового режима, км/ч	36,1	42,6	42,6	47,3	91,5	70,5	86,6
» продолжительного режима, км/ч	37,5	44,3	44,3	50,0	96,9	74,7	92,0
» конструкционная, км/ч	75	100	100	100	160	140	160
» на расчетном подъеме, км/ч	36,8	43,3	43,3	45,4	130	96	—
К. п. д., %	87,9	89,1	89,1	90,2	90,6	90,7	—
Электрическое торможение	Рекуперативное				Нет*	Нет	Реостатное
Длина по осям автосцепок, мм	16 390	17 020	27 520	32 840	18 920	17 080	18 920
Ширина кузова, мм	3 106	3 104	3 105	3 160	3 030	3 030	3 030
Высота от головки рельса до опущенного токоприемника, мм	4 990	5 100	5 100	3 121	5 120	5 100	5 120
Диаметр колес, мм	1 200	1 200	1 200	1 250	1 250	1 250	1 250
Тип тягового двигателя	ДПЭ-400	НБ-406Б		ТЛ-2К	4AL-4846eT	4AL-4846eT*[2]	
Количество тяговых двигателей	6	6	8	8	6	4	6
Подвешивание тяговых двигателей	Двусторонняя, прямозубая, эластичная	Опорно-осевое			Опорно-рамное		
Зубчатая передача	89 : 20	Двусторонняя, косозубая			Односторонняя, прямозубая		
Передаточное отношение зубчатой передачи	82 : 21	82 : 21	82 : 21	88 : 23	77 : 44	84 : 37	77 : 44
Расход металла на единицу мощности часового режима электровоза, кг/л. с.	40,5	32,2	32,2	26,2	22	22,4	20,0
Мощность часового режима электровоза на единицу массы, л. с./т	24,7	31,0	31,0	38,5	45,4	44,8	49,8

* Часть электровозов имеет реостатное торможение.

*[2] На электровозах ЧС2т применены тяговые двигатели AL-4846eT.

Таблица I-2

Основные технические данные электровозов переменного тока

Показатели	Электровоз серии										
	ВЛ80^{т}	ВЛ80^{к}	ВЛ60^{п}	ВЛ60^{к}	ВЛ60Р	Ф	К	ЧС4	ВЛ82	ВЛ82^{м}	ЧС4^{т}
Год начала выпуска	1967	1963	1962	1967	1962	1959	1961	1965	1966	1972	1971
Год окончания выпуска	—	1971	1965	1972	1966	1960	1961	1972	1968	—	—
Род службы	Грузовой		Пассажирский	Грузовой				Пассажирский	Грузовой		Пассажирский
Осевая формула	$2(2_0\text{-}2_0)$	$2(2_0\text{-}2_0)$	$3_0\text{-}3_0$	$3_0\text{-}3_0$	$3_0\text{-}3_0$	$3_0\text{-}3_0$	$3_0\text{-}3_0$	$3_0\text{-}3_0$	$2(2_0\text{-}2_0)$	$2(2_0\text{-}2_0)$	$3_0\text{-}3_0$
Сцепной вес, тс	184	184	138	138	138	138	138	123	184	192	126
Нагрузка от оси на рельсы, тс	23	23	23	23	23	23	23	20,5	23	24	21
Мощность часового режима, кВт	6 520	6 520	4 590	4 590	4 590	4 720	4 950	5 100	5 600	6 040	5 100
Мощность продолжительного режима, кВт	6 160	6 160	4 070	4 070	4 070	4 560	4 360	4 880	5 080	5 760	4 880
Мощность касательная на расчетном подъеме, кВт	5 860	5 860	4 750	4 390	4 390	4 160	5 110	—	6 080	6 340	—
Сила тяги часового режима, кгс	45 100	45 100	22 800	31 860	31 860	35 800	36 500	17 000	39 200	42 400	17 400
Сила тяги продолжительного режима, кгс	40 900	40 900	16 700	26 400	26 400	34 000	31 200	16 300	34 500	40 000	16 800
Сила тяги касательная на расчетном подъеме, кгс	48 500	48 500	32 000	36 500	36 500	36 600	40 800	—	46 000	49 000	—
Скорость часового режима, км/ч	51,6	51,6	65,5	52,0	52,0	47,3	48,4	108	51,0	51,0	107
Скорость продолжительного режима, км/ч	53,6	53,6	71,5	55,6	55,6	48,3	49,9	110	52,7	51,6	109
Скорость конструкционная, км/ч	110	110	100	100	100	100	100	180	110	110	180
Скорость на расчетном подъеме, км/ч	44,3	44,3	54,5	44,0	44,0	41,6	46	—	48,5	47,5	—
К. п. д., %	84	84	84	84	84	85	88	87	86/90*	86/90*	87
Коэффициент мощности	0,866	0,866	0,85	0,85	0,86	0,85	0,86	0,82	0,85	0,866	—
Электрическое торможение	Реостатное	Нет	Нет	Нет	Рекуперативное	Нет	Реостатное	Нет	Реостатное		
Длина по осям автосцепок, мм	32 840	32 840	20 800	20 800	20 800	23 060	21 020	19 980	32 840	32 840	19 980
Ширина кузова, мм	3 160	3 160	3 160	3 160	3 160	2 968	3 160	3 200	3 160	3 160	3 100
Высота от головки рельса до опущенного токоприемника, мм	5 100	5 100	5 100	5 100	5 100	4 920	4 960	5 240	5 100	5 100	5 195
Диаметр колес, мм	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250
Тип тягового двигателя	НБ-418К6	НБ-418К6	НБ-412М	НБ-412К	НБ-412К	ТАО-649В1	GB317/23a	AL-4442пР	НБ-420Б	НБ-407Б	AL-4442пР
Количество тяговых двигателей	8	8	6	6	6	6	6	6	8	8	6
Подвешивание тяговых двигателей	Опорно-осевое					—	—	Опорно-рамное	Опорно-осевое		Опорно-рамное
Зубчатая передача	Двусторонняя, косозубая					Односторонняя, прямозубая, эластичная	Двусторонняя, косозубая, эластичная	Односторонняя, прямозубая	Двусторонняя, косозубая		Односторонняя, прямозубая
Передаточное отношение зубчатой передачи	88 : 21	88 : 21	82 : 30	88 : 23	88 : 23	71 : 16	74 : 18	74 : 28	88 : 21	88 : 26	74 : 28
Расход металла на единицу мощности часового режима электровоза, кг/л. с.	20,7	20,7	24,5	21,8	21,8	21,5	20,5	17,7	24,1	23,5	18,1
Мощность часового режима электровоза на единицу массы, л. с./т.	46,0	48,2	40,8	46,0	46,0	46,5	49,0	56,4	41,4	42,5	55,0

Таблица I-3

Основные технические данные магистральных тепловозов

Показатели	Тепловоз серии										
	ТЭ2	ТЭ3	ТЭП10	ТЭП60	2ТЭ10Л	М62	2ТЭ40	ТЭП70	ТГ102	ТГ16	2ТЭ116
Год начала выпуска	1948	1953	1958	1960	1963	1965	1964	1973	1960	1966	1971
Год окончания выпуска	1955	1973	1968	—	—	—	1967	—	1965	—	—
Род службы	Грузовой		Пассажирский		Грузовой	Пассажирский			Грузо-пассажирский	Грузовой	
Осевая формула	$2(2_0\text{-}2_0)$	$2(3_0\text{-}3_0)$	$3_0\text{-}3_0$	$3_0\text{-}3_0$	$2(3_0\text{-}3_0)$	$3_0\text{-}3_0$	$2(3_0\text{-}3_0)$	$3_0\text{-}3_0$	$2(2_0\text{-}2_0)$	$2(2_0\text{-}2_0)$	$3_0\text{-}3_0$
Сцепной вес, тс	2×85	2×126	129	129	2×129,3	116,5	2×126	126	2×85	2×68	2×138
Нагрузка от оси на рельсы, тс	21,25	21	21,5	21,5	21,6	19,4	21	21	20,5	17	22,5
Мощность по дизелям, л. с.	2×1 000	2×2 000	3 000	3 000	2×3 000	2 000	2×3 000	4 000	2×1 640	2×1 640	2×3 000
Касательная мощность продолжительного режима, л. с.	2×740	2×1 495	2 340	2 310	2×2 310	1 480	2×2 310	—	2×1 500	2×915	2×2 310
Сила тяги продолжительного режима на ободе колес, кгс	2×10 000	2×20 200	17 000	12 500	2×26 000	20 000	2×26 000	17 000	2×16 250	2×19 000	2× ×260 000
Скорость конструкционная, км/ч	93	100	140	160	100	100	100	160	120	85	120
Скорость продолжительного режима, км/ч	20	20	37,2	50	24	20	24	50	25	13	23,5
Ширина колеи, мм	1 520	1 520	1 520	1 520	1 520	1520/1435	1 520	1 520	1 520	1 067	1 520
Длина по осям автосцепок, мм	23 895	33 950	18 610	19 250	33 938	17 550	37 220	20 470	30 540	30 900	33 938
Диаметр колеса, мм	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 220	1 050	950	1 050
К. п. д., %*	25	27	29,3	27,8	29,0	26,6	32,5	—	—	—	—
Передача	Электрическая постоянного тока							Электрическая переменно-постоянного тока	Гидравлическая		Электрическая переменно-постоянного тока
Тип дизеля	Д50	2Д100	10Д100	11Д45	10Д100	14Д40	Д70	2А-5Д49	М-756А	М-756А	5Д49
Тип холодильника	Секционный с пластинчатым оребрением										
Диаметр вентиляторного колеса холодильника дизеля, мм	1600	1600	1 800 / 1 000*2	2×1 600	2 000	1 600	1 400		2×1 100	—	1 100
Максимальная частота вращения вентиляторного колеса холодильника, об/мин	975	1 380*3 / 1 020	1 255 / 2 300*2	1 300	1 160	1 395	1 330		1 645	—	1 960
Мощность, потребляемая вентилятором холодильника дизеля, л. с.	35	80*3/35	132 / 31*2	2×90	173	87,5	—		2×45	—	—
Тип генератора	МПТ-84/39	МПТ-99/47	ГП-311	ГП-311В	ГП-311Б	ГП-312	ГП-310	ГС-504А	УГП-1000	УГП-820	ГС-501А
» тягового двигателя	ДК-304Б	ЭДТ-200А	ЭД-107	ЭД-108	ЭД-107	ЭД-107	ЭД-107	ЭД-119	—	—	ЭР-118
Количество тяговых двигателей	2×4	2×6	6	6	2×6	6	2×6	6	—	—	2×6
Запас топлива, кг	2×3 500	2×5 440	5 000	5 000	2×6 300	3 400	2×6 500	6 800	2×5 440	2×3 000	—
» песка, кг	2×400	2×700	950	600	2×910	600	2×950	600	2×600	2×800	—
» масла, кг	2×400	2×1 200	1 500	1 060	2×1 500	800	2×1 240	—	4×450	4×430	—
» воды, кг	2×945	2×800	1 450	1 580	2×1 450	950	2×1 215	—	4×400	4×450	—
Расход металла на единицу касательной мощности, кг/л. с.	108,1	78,9	51,2	51,9	51,6	74,8	50,2	—	50,4	70,0	—
Касательная мощность длительного режима на единицу массы, л. с./т	9,0	12,7	19,5	19,2	19,4	13,4	19,9	—	20,0	14,4	—

* При использовании мощности тепловоза на 100%.
*2 Холодильника наддувочного воздуха.
*3 В числителе для летнего режима, в знаменателе для зимнего.

Таблица I-4

Основные технические данные маневровых тепловозов

Показатели	Тепловоз серии									
	ТЭ1	ТЭМ1	ТЭМ2	ТГМ1	ТГМ3А	ТГМ5	ВМЭ1	ЧМЭ2	ЧМЭ3	ТЭМ5
Год начала выпуска	1947	1956	1960	1956	1959	1965	1958	1958	1964	1973
Год окончания выпуска	1952	1968	—	—	—	—	1966	1963	—	—
Осевая формула	3_0-3_0	3_0-3_0	3_0-3_0	0-3-0	2-2	2(2-2)	2_0-2_0	2_0-2_0	3_0-3_0	3_0-3_0
Сцепной вес, тс	123,9	120	120	48	68	2×88	74,56	74	123	126
Нагрузка от оси на рельсы, тс	20,65	20	20	16	17	22	18,6	18,5	20,5	21
Мощность по дизелю, л. с.	1 000	1 000	1 200	400	750	2×1 200	600	750	1 350	1 200
Касательная мощность продолжительного режима, л. с.	710	665	900	181	367/500	425/725	388	525	970	—
Сила тяги продолжительного режима на ободе колес, кгс	16 000	20 000	21 000	12 200/6 100*	19 800/9 000*	2×23 000*/2×13 000	9 200	12 000	23 000	204 000
Конструкционная скорость, км/ч	90	100	100	70/60*	30/62*	40/80*	80	80	95	100
Скорость продолжительного режима, км/ч	12	9	11,5	4/8	5/15	5/15	11,4	11,8	11,4	11,8
К. п. д., %*2	24	23,2	27,8	—	—	—	22,2	27,0	27,5	—
Ширина колеи, мм	1 520	1 520	1 520/1 435*	1 520	1 520/1 435*	1 520/1 435*	1 520/1 435*	1 520/1 435*	1 520/1 435*	1 520
Длина по осям автосцепок, мм	16 892	16 970	16 970	9 750	12 600	2×13 500	12 850	13 260	17 220	16 970
Диаметр колес, мм	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050
Передача	Электрическая, постоянного тока			Гидравлическая			Электрическая, постоянного тока			
Тип дизеля	Д50	2Д50	ПДГ-1М	1Д12-400	М753Б	6Д70	XVIIУ17/24	6S310DP	K6S310DR	6Д49
» холодильника	Секционный с пластинчатым оребрением									
Диаметр вентиляторного колеса холодильдика дизеля, мм	1 144	1 600	1 600	—	1 200	—	1 204	1 058	—	1 250
Максимальная частота вращения вентиляторного колеса холодильника, об/мин	1 240	986	1 055	—	1 300	—	960	1 450	—	1 596
Мощность, потребляемая вентилятором холодильника дизеля, л. с.	42	31	51	—	15	—	28,5	22	—	42
Тип генератора	МПТ-84/39	МП-Т84/39	ГП-300Б	—	—	УГП-1200/212	EBSC41/200	ТД-868	ТД-802	ГП-319Б
Тип тягового двигателя	ДК-304Б	ЭДТ-200Б	ЭД-107	—	—	—	TJC3244/14	TE004	TE006	ЭД-107А
Радиус проходимых кривых, м	—	80	80	60	40	60	50	70	80	80
Запас топлива, кг	5 150	5 440	5 440	1 350	2 990	2×4 500	3 000	3 500	5 250	5 400
» песка, кг	1 150	2 000	2 000	300	900	2×900	300	700	2 000	2 000
» масла, кг	400	430	430	380	490	2×560	300	350	440	—
» воды, кг	945	950	1 000	190	580	2×550	1 560	710	1 100	—
Расход металла на единицу касательной мощности, кг/л. с.	163,3	167,1	123,4	252,9	126,2	112,2	181,9	131,0	117,6	—
Касательная мощность длительного режима на единицу массы, л. с./т	6,1	6,0	8,1	4,0	8,0	9,0	5,5	7,7	8,5	—

* В знаменателе для узкой колеи.
*2 При использовании мощности тепловоза на 80—100%.

Таблица I-5

Основные технические данные электропоездов

Показатели	Электросекция или поезд серии						
	$С_з^р$	ЭР1	ЭР2	ЭР22	ЭР9П	ЭР22М	ЭР200
Год начала выпуска	1951	1957	1962	1964	1961	1972	1973
Год окончания выпуска	1958	1962	—	1968	—	—	—
Схема формирования поезда (основная составность)	П + М+П*	5М+2Г+3П	5М+2Г+3П	2(МГ+2П+МГ)	5М+27+3П	2(МГ+2П+МГ)	2ПГ+12М
Масса тары, т:							
моторный вагон	62,0	52,5	54,6	63,5	59,0	63,5	61,5
головной вагон	—	38,5	40,9	—	39,0	—	60
прицепной вагон	38,5	36,5	38,3	41,1	37,0	46,5	—
Мощность поезда в часовом режиме, кВт	792*	4 000	4 000	3 520	3 600	3 520	10 300
Конструкционная скорость, км/ч	85	130	130	130	130	130	200
Ускорение при пуске, м/с²	0,45	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	—
Замедление при торможении, м/с²	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	—
Длина вагона по торцовым стенам, мм	19 310	19 600	19 600	24 500	19 600	24 500	26 000
Ширина вагонов (по гофрам или головкам поручней), мм	3 950	3 521	3 521	3 491	3 521	3 491	3 100
Высота вагона от головки рельса до опущенного токоприемника, мм	4 895	5 005	5 030	5 137	5 160	5 137	—
Общая длина поезда по осям автосцепок, м	59,495*	201,493	201,493	200,448	201,493	200,448	370
Количество мест для сидения в вагоне:							
моторном	105	110	110	116	110	112	64
головном	—	88	88	—	88	—	24
прицепном	108	110	108	131	108	130	—
Количество мест для сидения в поезде	213*	1 056	1 050	938	1 050	968	816
Диаметр колеса по кругу катания, мм:							
моторный вагон	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	1 050	950
головной и прицепной вагоны	1 050	950	950	950	950	950	950
Тип тягового двигателя	ДК-103Г	ДК-106Б	УРТ-110А	РТ-113А	РТ-51Д	1ДТ-003	1ДТ-003
Количество тяговых двигателей на поезд	4*	20	20	16	20	16	48
Подвешивание тяговых двигателей	Опорно-осевое	Опорно-рамное					
Зубчатая передача	Односторонняя с осевым редуктором	Односторонняя с упругой муфтой	Односторонняя с резино-кордной муфтой				
Передаточное отношение зубчатой передачи	3,69	3,17	3,17	3,41	3,17	3,41	2,35
Масса тары, приходящаяся на одно место для сидения, кг	471,8	425,1	447,7	423,0	460,9	454,5	1051,4
Мощность тяговых двигателей, приходящаяся на одно место для сидения, кВт	3,71	3,78	3,81	3,66	3,43	3,9	12,6
Мощность тяговых двигателей, приходящаяся на 1 т массы тары, кВт/г	7,8	8,9	8,5	8,4	7,4	8,7	12,0

* Одной секции.

Таблица I-6

Основные технические данные дизель-поездов

Показатели	Дизель-поезд серии		
	ДР1, ДР1М	Д	Д1
Год начала выпуска	1963	1961	1964
Год окончания выпуска	—	1964	—
Мощность по дизелю, л. с.	2×1 000	2×500	2×730
Количество моторных вагонов	2	2	2
» прицепных вагонов	2 или 4	1	2
Скорость конструкционная, км/ч	120	120	120
Ускорение при пуске, м/с²	0,54*	0,35	0,3
Нагрузка от оси на рельсы, тс	19,5	16	17
Общая длина поезда по осям автосцепок, мм	103 188* / 154 352*²	73 620	99 080
Длина моторного вагона по торцовым стенкам, мм	26 012	24 540	25 000
Длина прицепного вагона, мм	25 582	24 540	24 540
Масса моторного вагона, т	55,6	65,5	68,5
» прицепного вагона, т	35,5	36,5	36,5
» поезда, т	182,2* / 253,3*²	167,5	210
Количество мест для сидения в вагоне:			
моторном	68	77	77
прицепном	124	128	128
Количество мест для сидения в поезде	384*/632*²	282	410
Передача	Гидравлическая	Механическая	Гидромеханическая
Тип дизеля	М756Б	121У 17/24	12У17/24

* При четырехвагонной составности.
*² При шестивагонной составности.

II. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И ТЕПЛОВОЗНАЯ ТЯГА

II-1. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА. ДЕЙСТВУЮЩИЕ СИЛЫ И ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА

Уравнение движения поезда (первая и вторая формы). Полезное перемещение поезда всегда сопровождается продольными и поперечными колебаниями локомотива и вагонов.

Путь S, пройденный n-м вагоном поезда (рис. II-1) в направлении движения, есть сумма двух составляющих: $S = S_{01} + S_{n/01}$, где S_{01} — путь центра тяжести поезда; $S_{n/01}$ — путь n-го вагона относительно центра тяжести поезда.

Приближенно процесс движения поезда (без учета продольных и поперечных колебаний) описывают уравнением движения поезда, представляющим в дифференциальной форме связь между поступательной скоростью v его центра тяжести, временем t и пройденным путем S:

$$m_ф (1+\gamma) \frac{dv}{dt} = F_у \text{ (первая форма)}, \quad \text{(II-1)}$$

где $F_у$ — равнодействующая сил тяги, сопротивления движению и торможения, приложенная к центру тяжести поезда;

$m_ф$ — физическая масса поезда.

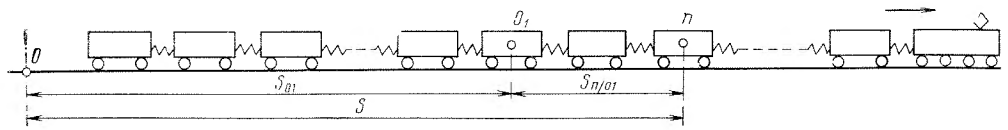


Рис. II-1. Мгновенные координаты n-вагонного поезда

Ускорение n-го вагона равно сумме ускорений центра тяжести поезда и этого вагона относительно центра тяжести:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = \frac{d^2 S_{01}}{dt^2} + \frac{d^2 S_{n/01}}{dt^2}.$$

В тяговых расчетах учитывают только ускорение $\frac{d^2 S_{01}}{dt^2}$ центра тяжести поезда. Поезд представляют в виде материальной точки, к которой приложены все действующие на него силы. Непроизводительные ускорения $\frac{d^2 S_{n/01}}{dt^2}$, вызывая относительные перемещения вагонов, порождают динамические силы, действующие вдоль поезда и приложенные к автосцепкам, через которые одновременно передается сила тяги. Эти динамические силы могут быть настолько велики, что, суммируясь с силой тяги, вызовут в известные моменты обрыв поезда. Поэтому их учитывают в прочностных расчетах конструкций подвижного состава [1, 2].

Заменив $v = \frac{dS}{dt}$ и $dt = \frac{dS}{v}$, получим

$$m_ф (1+\gamma) v \frac{dv}{dS} = F_у \text{ (вторая форма)}, \quad \text{(II-2)}$$

где $\gamma = \frac{m_э}{m_ф}$ — коэффициент инерции вращающихся частей, учитывающий в расчетах увеличение массы поезда по сравнению с физической за счет вращающихся частей.

Эквивалентная масса

$$m_э = \sum \frac{J_к}{R_к^2} + \sum \frac{J_п}{R_п^2} + \sum \frac{J_a \mu^2}{R_к^2},$$

где $J_к$ и $R_к$ — момент инерции и радиус колесных пар, имеющих тяговый привод (моменты инерции деталей привода учитывают приведенной величиной $J_к$);

$J_п$ и $R_п$ — момент инерции и радиус колесных пар, не имеющих тягового привода (для учета влияния привода подвагонного генератора вводят приведенную к оси колеса величину $J_п$);

$J_а$ — момент инерции якоря тягового двигателя, включая детали тягового привода, жестко связанные с валом тягового двигателя.

Коэффициент γ определяют либо расчетным, либо опытным путем. Расчетом определяют

$$m_э = \Sigma m_к \frac{\rho_к^2}{R_к^2} + \Sigma m_п \frac{\rho_п^2}{R_п^2} + \Sigma m_а \frac{\mu^2 \rho_а^2}{R_к^2}$$

и далее

$$\gamma = \left[\Sigma q_к \frac{\rho_к^2}{R_к^2} + \Sigma q_п \frac{\rho_п^2}{R_п^2} + \Sigma q_а \frac{\mu^2 \rho_а^2}{R_к^2}\right] \frac{1}{G},$$

где $G = P + Q$ — вес поезда (P — вес локомотива, Q — вес состава);

$q_к$ и $\rho_к$ — вес и приведенный радиус инерции ($J_к = m_к \rho_к^2$) колесной пары, имеющей тяговый привод;

$q_п$ и $\rho_п$ — то же колесной пары, не имеющей тягового привода;

$q_а$ и $\rho_а$ — то же якоря тягового двигателя.

Для поезда, состоящего из вагонов различных типов,

$$1 + \gamma = \frac{\Sigma Q_i (1 + \gamma_i)}{\Sigma Q_i} = 1 + \frac{\Sigma Q_i \gamma_i}{\Sigma Q_i},$$

где Q_i — вес части поезда, сформированной из однотипных вагонов, имеющих коэффициент γ_i.

В табл. II-1 приведены расчетные значения коэффициентов $(1 + \gamma)$ для подвижного состава некоторых типов (при $\rho_i = 0{,}8\ R_i$, где R_i — радиус тела вращения).

В зависимости от поставленных задач пользуются разными единицами измерения величин, входящих в уравнение движения. Переход от одной системы единиц к другой производят при помощи коэффициента ξ_1 для первой и ξ_2 для второй формы уравнения движения.

Согласно Правилам тяговых расчетов для поездной работы (ПТР) коэффициент ξ_1 для поезда в целом при всех эксплуатационных расчетах следует принимать равным 120 км/ч².

Чтобы перейти от технической системы единиц к международной, надо умножить все силы и моменты на 9,81 (для перевода кгс и кгс·м соответственно в ньютоны и ньютон-метры), а частоту вращения разделить на 2π (для перехода от об/мин к рад/с).

Режимы движения поездов. В общем случае на поезд могут действовать: сила тяги F, направленная по движению поезда; сила сопротивления движению W и тормозная сила B, направленные против движения поезда. На крутых спусках, когда составляющая веса поезда велика, сила W может

Таблица II-1

Значения $1+\gamma$ для подвижного состава

Тип и серия подвижного состава	Передаточное отношение	$1+\gamma$
Электровозы		
ВЛ8	82 : 21	1,20
ВЛ10, ВЛ60к	88 : 23	1,27
ВЛ80к	88 : 21	1,25
ЧС2	77 : 44	1,17
ЧС4	74 : 28	1,16
Тепловозы		
ТЭ3, ТЭ7	75 : 17	1,15
	66 : 26	1,07
ТЭ10, ТЭП10	69 : 14	1,15
	63 : 20	1,08
2ТЭ10Л	68 : 15	1,13
ТЭП60	72 : 31	1,05
Электропоезда		
ЭР1, ЭР2	3,17	1,10
ЭР22	3,41	1,09
ЭР200	2,346	1,06
Дизель-поезда		
ДР1	—	1,07
ДР2	—	1,06
Вагоны грузовые		
Четырехосные порожние	—	1,08
Четырехосные груженые	—	1,03

стать отрицательной, т. е. будет действовать по направлению движения поезда.

В режиме тяги равнодействующая сил, действующих на поезд, $F_у = F - W$ и, следовательно,

$$G \frac{dv}{dt} = \xi_1 (F - W).$$

Если $(F - W) > 0$ — скорость поезда растет; если $(F - W) < 0$ — скорость уменьшается; при $F - W = 0$ — поезд движется с постоянной скоростью $\left(\frac{dv}{dt} = 0\right)$.

Когда локомотив не развивает силы тяги ($F = 0$), осуществляется режим выбега:

$$G \frac{dv}{dt} = -\xi_1 W.$$

В этом случае на площадках ($i = 0$) движение поезда происходит по инерции, на уклонах — еще и под действием составляющей силы тяжести поезда.

При торможении обычно $F = 0$, $B > 0$ и, следовательно,

$$G \frac{dv}{dt} = -\xi_1 (W + B),$$

т. е. скорость поезда снижается $\left(\frac{dv}{dt} < 0\right)$.

При движении на крутом спуске, когда $W < 0$, а тормозная сила мала, может быть, что $(B + W) < 0$ и тогда замедления поезда происходить не будет. Для торможения увеличивают тормозную силу. Если $(B + W) = 0$, то поезд будет двигаться по этому спуску с постоянной скоростью в режиме подтормаживания.

В практике пользуются удельными значениями действующих на поезд сил, т. е. величинами, отнесенными к 1 т веса поезда.

Удельная равнодействующая (удельная ускоряющая) сила

$$f_y = \frac{F_y}{G} = \frac{F - W}{G} = \frac{F}{G} - \frac{W}{G} = f - w \text{ кгс/тс}.$$

При этом $f = \frac{F}{G}$ — удельная сила тяги, кгс/тс;

$w = \frac{W}{G}$ — удельное сопротивление движению, кгс/тс.

Уравнение движения в удельных единицах для режима тяги ($B = 0$) имеет вид:

$$\frac{dv}{dt} = \xi_1 (f - w) \quad \text{(первая форма)},$$

$$v \frac{dv}{ds} = \xi_2 (f - w) \quad \text{(вторая форма)}.$$

В режиме торможения $F = 0$, $B > 0$ и соответственно

$$\frac{dv}{dt} = -\xi_1 (w + b) \text{ и } v \frac{dv}{ds} = -\xi_2 (w + b),$$

где $b = \frac{B}{G}$ — удельная тормозная сила, кгс/тс;

Сила тяги и сила сцепления колес локомотива с рельсами. Поезд перемещается вдоль пути под действием внешней силы — силы тяги локомотива, возникающей при сцеплении его колес с рельсами.

Если не учитывать упругости материала бандажа и рельса, считать их абсолютно жесткими, то A (рис. II-2) является точкой опоры колеса на рельс.

Приложенный к колесу локомотива от тягового двигателя вращающий момент M, направленный, например, по часовой стрелке, реализуется в виде пары сил ($F_к$, $F_к$), одна из которых приложена в точке O через буксы к раме тележки и направлена по движению, а другая приложена в точке A к рельсу и направлена против движения. Как реакция на эту силу под действием нагрузки колеса в опорной точке возникает из-за сцепления с рельсом внешняя по отношению к колесу сила—сила сцепления $F_{сц}$. Эта сила направлена противоположно $F_к$, т. е. по движению колеса и препятствует проскальзыванию опорной точки колеса вдоль рельса.

Силу сцепления $F_{сц}$ называют касательной силой тяги на ободе движущего колеса. В отличие от нее силу $F_д$, определяемую моментом тягового двигателя и передаваемую через тяговый привод на ось, называют просто силой тяги.

При отсутствии трения в подшипниках и движении с постоянной скоростью $F_д = F_{сц}$.

В общем же случае — при движении с неравномерной скоростью и с учетом сопротивления движению в буксах

$$F_к = F_д - \frac{J_к}{R_к} \cdot \frac{d\omega}{dt} - W_б, \qquad \text{(II-3)}$$

где ω — угловая частота вращения колесной пары, соответствующая скорости ее поступательного движения;

$W_б$ — сопротивление движению в буксах.

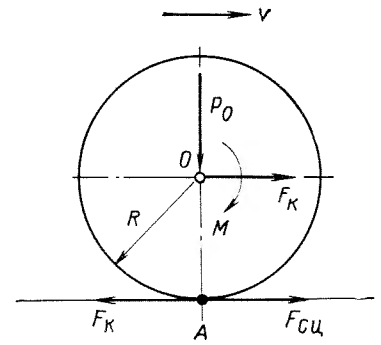


Рис. II-2. Нагрузка колеса и сила тяги

Если $F_к > F_{сц}$, то происходит срыв сцепления, начинается боксование колесной пары. При этом частота вращения ее ω' начинает возрастать, так как на угловую скорость ω накладывается скорость скольжения $\omega_{ск}$:

$$\omega' = \omega + \omega_{ск}.$$

Разность сил

$$\left(F_д - \frac{J_к}{R_к} \cdot \frac{d\omega}{dt} - W_б\right) - F_{сц}$$

определяет угловое ускорение боксующей колесной пары и, следовательно, характер ее движения.

Движение без боксования колес локомотива обеспечивается только при условии, что не превзойдена максимальная сила сцепления.

Так как сила сцепления имеет природу силы трения, считают, что она равна в первом приближении произведению нагрузки колеса P_0 на коэффициент сцепления ψ колеса с рельсом. Максимальное значение силы сцепления колеса при тяге

$$F_{к\,max} = 1000 P_0 \psi_{max} \text{ кгс},$$

где P_0 — нагрузка, тс.

Закон сцепления поезда в режиме тяги имеет вид:

$$F_{max} \leqslant 1000 P_{сц} \psi \text{ кгс},$$

где F_{max} — наибольшая допускаемая сила тяги локомотива, реализуемая без боксования;

$P_{сц}$ — сцепной вес поезда, тс;

ψ — коэффициент сцепления (коэффициент пропорциональности между силой сцепления и сцепным весом).

Если на колесо действует тормозной момент (рис. II-3), то он реализуется в виде пары сил ($B_к$, $B_к$), одна из которых приложена в точке O к раме тележки, другая — в точке A от колеса к рельсу.

Под действием силы $B_к$ благодаря нагрузке колеса P_0 и сцеплению колес с рельсами возникает в опорной точке A внешняя

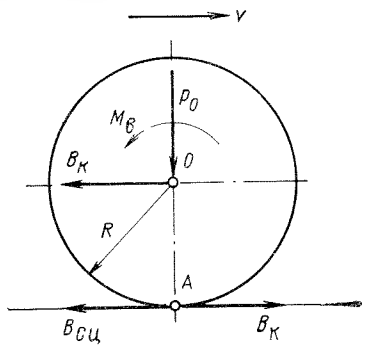


Рис. II-3. Нагрузка колеса и тормозной момент

сила — сила сцепления $B_{сц}$, направленная противоположно силе $B_к$.

Колесо тормозится благодаря внешней силе $B_{сц}$, которую называют тормозной силой.

В общем случае

$$B = B_к + \frac{J_к}{R_к} \cdot \frac{d\omega}{dt} + W_б,$$

где $W_б$ — сопротивление движению от трения в буксовых подшипниках.

Если $B > B_{сц}$, то начнется проскальзывание колеса по рельсу, которое ведет к заклиниванию (юзу) колеса. Во избежание этого при торможении сила B не должна превосходить максимально допустимую силу сцепления $B_{к\,max} = P_0\,\psi_{max}$, или, измеряя давление в тоннах, а силу тяги в килограммах, получим

$$B_{кmax} = 1000\,P_0\,\psi_{max},$$

где P_0 — нагрузка от колеса на рельс, тс.

Для поезда наибольшая тормозная сила поезда, реализуемая без заклинивания колес,

$$B_{max} = 1000\,P_т\,\psi_{max},$$

где $P_т$ — тормозной вес или давление всех тормозных осей поезда на рельсы, тс.

Влияние упругости материала бандажа и рельса. Касание бандажа и рельса в одной точке мыслимо только без учета упругости их материала. В действительности под действием вертикальной нагрузки материал бандажа и рельса, обладающий упругостью, будет деформироваться, вдавливаться один в другой и касание будет происходить не в точке, а по некоторой поверхности (эллипсу). Нормальные напряжения на площадке смятия двух соприкасающихся цилиндров со взаимно перпендикулярными осями (задача Герца) распределяются по закону

$$q_{x,\,y} = q_0 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}\,.$$

Для точек на контуре поверхности соприкосновения, где $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$, ..., $q_{x,\,y} = 0$ и напряжения отсутствуют; в центре поверхности соприкосновения, где $x = y = 0$, ... $q_{x,\,y} = q_0 = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi ab}$, т. е. давление в центре опорной поверхности в 1,5 раза выше среднего.

Большая ось эллипса направлена вдоль линии касания с цилиндром меньшего радиуса, малая ось — вдоль линии касания с цилиндром большего радиуса.

При этом величины полуосей эллипса

$$a = \xi \sqrt[3]{3\,\frac{P}{E} \cdot \frac{1-\gamma^2}{\frac{1}{R_б} + \frac{1}{R_м}}}\,;$$

$$b = \eta \sqrt[3]{3\,\frac{P}{E} \cdot \frac{1-\gamma^2}{\frac{1}{R_б} + \frac{1}{R_м}}}\,,$$

где P — вертикальное давление;

E — модуль упругости;

γ — коэффициент Пуассона;

$R_б$ — радиус большого цилиндра;

$R_м$ — радиус малого цилиндра;

ξ, η — коэффициенты, линейно зависящие от

$$\cos\beta = \left(\frac{1}{R_б} - \frac{1}{R_м}\right) \Big/ \left(\frac{1}{R_б} + \frac{1}{R_м}\right).$$

Для конического бандажа и выпуклого рельса полуоси поверхности соприкосновения [3, 4]:

$$a = \sqrt[3]{\frac{4(1-\gamma^2)}{\pi}\,\psi\left(\frac{r}{R}\right)} \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{E}R}$$

$$b = \sqrt{1-e^2}\;a,$$

где $e = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$ — эксцентриситет эллипса касания;

$\psi\left(\frac{r}{R}\right) = f(e)$ — зависимость e от отношения r/R (при $r = 0$ $e = 1$ и быстро убывает до нуля по мере приближения r/R к единице).

Точность расчетов по приведенным формулам зависит от того, насколько выполнены условия идеализации задачи (отсутствие

тангенциальной нагрузки, изменяющей напряженное состояние в зоне контакта; применимость закона Гука к материалу обоих тел; изотропность и однородность тел; приложение сжимающей силы по нормали к контактной поверхности и т. п.).

Практически из-за сложности происходящих процессов принимают упрощающее предположение: под действием вращающего момента тягового двигателя по опорной поверхности возникает касательная сила, равная произведению коэффициента трения по этой поверхности на удельное давление. Симметрия распределения удельных давлений по опорной поверхности нарушается: вступающие в контактную площадку волокна материала бандажа под действием сил молекулярного сцепления оказываются сжатыми в набегающей части и растянутыми в сбегающей части контактного пятна [5, 6].

Вследствие возникающего относительного проскальзывания волокон бандажа и рельса путь dx_a, проходимый геометрическим центром колеса, не равен пути $rd\alpha$, подсчитанному по окружной скорости колеса за то же самое время, исходя из его номинального радиуса. Разность этих путей $dx_a - rd\alpha = du_{ск}$ представляет упругое перемещение материала. Относительную величину упругого перемещения называют упругим скольжением (криппом)

$$\frac{dx_a - rd\alpha}{rd\alpha} = \frac{du_{ск}}{dx}\,,$$

где dx — путь абсолютно жесткого колеса за время dt.

Упругие перемещения частиц материала бандажа и рельса весьма малы. Экспериментально установлено, что существует пропорциональность между этими перемещениями и действующими силами:

$$F_{сц} = \kappa\,\frac{du_{ск}}{dx}$$

или

$$F_{сц} = \kappa\,\frac{du_{ск}}{dx} \cdot \frac{dt}{dt} = \kappa\,\frac{\dot{u}_{ск}}{v}\,,$$

где $\frac{du_{ск}}{dt} = \dot{u}_{ск}$ — скорость упругого скольжения волокон материала бандажа и рельса;

$\frac{dx}{dt} = v$ — скорость поступательного перемещения центра колеса.

Приближенно $\kappa = 800\sqrt{P_к R_к}$, где $P_к$ — нагрузка колеса, кгс; $R_к$ — радиус колеса, мм.

Так как $F_{сц} = 1000\,P_0\psi$, то коэффициент сцепления

$$\psi = \frac{F_{сц}}{1000} = \kappa_1\,\frac{\dot{u}_{ск}}{v}\,.$$

Если при передаче вращающего момента тягового двигателя скорость упругого скольжения превысит определенную величину, то нарушится пропорциональность между действующими силами и деформациями и на упругое скольжение наложится действительное скольжение колеса по рельсу. При этом сила тяги превысит силу сцепления и наступит боксование колеса.

Зависимость коэффициента сцепления ψ от скорости упругого скольжения $\dot{u}_{ск}$ представлена на рис. II-4. Слева от $\dot{u}_{кр}$ — область упругого скольжения, справа от $\dot{u}_{кр}$ — действительного скольжения. Считают, что $\dot{u}_{кр} = 0{,}5 \div 2{,}0\%\ v$, т. е. даже при скорости 150 км/ч критическая величина скорости упругого скольжения, соответ-

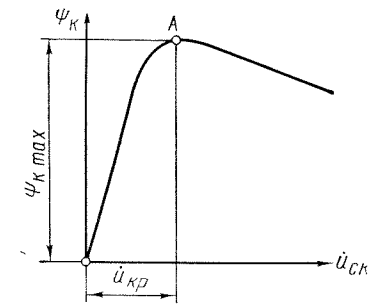


Рис. II-4. Зависимость коэффициента сцепления от скорости упругого скольжения

ствующая максимальному значению коэффициента сцепления, не превышает 0,1—0,2 м/с.

Расчетные значения коэффициента сцепления. Коэффициент сцепления локомотивов при тяге рассчитывают согласно Правилам тяговых расчетов для поездной работы по следующим формулам:

а) электровозов постоянного тока, тепловозов и дизель-поездов

$$\psi_к = 0{,}25 + \frac{8}{100 + 20v}\,;$$

б) электровозов переменного тока в диапазоне скорости движения 0—40 км/ч

$$\psi_к = 0{,}228 + \frac{7}{53 + 3v}\,;$$

в) электровозов переменного тока в диапазоне скоростей движения 40—150 км/ч

$$\psi_к = 0{,}09 + \frac{5}{413 + 3v}\,.$$

Зимой при буране, гололеде и т. п. метеорологических условиях разрешается по указанию МПС снижать коэффициент сцепления не более чем на 15% от расчетного, найденного по приведенным формулам.

При движении в тоннелях величину снижения коэффициента сцепления устанавливают по результатам специальных опытов.

При наличии на расчетном подъеме кривых малого радиуса (менее 500 м) коэффициент сцепления рассчитывают по формуле

$$\psi_{к\,(кр)} = \psi_к\,\frac{250 + 1{,}55R}{500 + 1{,}1R}\,.$$

Статистическая оценка коэффициента сцепления. На величину коэффициента сцепления оказывает влияние множество факторов, зависящих как от конструкции механической части локомотива, так и его электрооборудования, схемы соединения тяговых двигателей, схемы регулирования и т. п., а также ряда других факторов, проявляющихся в условиях движения локомотива, связи между которыми в силу их сложности полностью еще не раскрыты. Поэтому в условиях эксплуатации значения коэффициента сцепления имеют разброс относительно средней величины, для оценки которого используют теоретико-вероятностные методы.

Плотность распределения вероятностей возможных значений коэффициента сцепле-

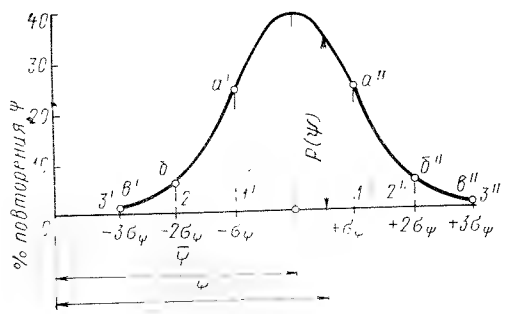


Рис. II 5. График нормального распределения значений коэффициента сцепления

ния $p(\psi)$ можно представить нормальным законом (рис. II-5):

$$p(\psi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_\psi} e^{-\frac{(\psi-\bar{\psi})^2}{2\sigma_\psi^2}},$$

где $\bar{\psi} = \frac{\sum_1^N \psi_i}{N}$ — среднее значение коэффициента сцепления;

$\sigma_\psi^2 = \frac{\Sigma(\psi-\bar{\psi})^2}{N}$ — дисперсия коэффициента сцепления.

Вероятность P нахождения величины ψ в заданном интервале $[\psi_1; \psi_2]$

$$P\{\psi_1 < \psi < \psi_2\} = \int_{\psi_1}^{\psi_2} p(\psi)\, d\psi.$$

При обозначении $\frac{\psi-\bar{\psi}}{\sigma_\psi} = z$ любую величину коэффициента сцепления можно представить в долях отклонения от среднего значения:

$$\psi = \bar{\psi} \pm z\,\sigma_\psi.$$

Из рис. II-5 следует, что в пределах $\bar{\psi} \pm \sigma_\psi$ (область $1' - a' - a'' - 1''$) заключено 68,3% всех значений ψ; в пределах $\bar{\psi} \pm 2\ \sigma_\psi$ (область $2' - б' - б'' - 2''$) 95,4% и в пределах $\bar{\psi} \pm 3\,\sigma_\psi$ (область $3' - в' - в'' - 3''$) практически все значения коэффициента сцепления (99,7%).

По минимальному расчетному коэффициенту сцепления, равному $\bar{\psi} - 3\sigma_\psi$, может быть выбран пусковой ток при наихудших условиях сцепления; по максимальному значению коэффициента сцепления $\bar{\psi} + 3\sigma_\psi$ — ток срабатывания аппаратов защиты от перегрузки силовых цепей локомотива.

Гипотеза пропорциональности между коэффициентом сцепления и силой тяги позволяет рассматривать реализованные значения коэффициента сцепления как результат случайного в каждый момент времени процесса взаимодействия колеса и рельса и количественно учесть влияние режима работы локомотива, разброса характеристик его тяговых двигателей, изменения состояния бандажей и рельсов и т. п. на реализацию силы сцепления. При этом значения коэффициента сцепления изменяются в течение исследуемого интервала времени.

Коэффициент сцепления в данный момент времени можно представить как сумму трех составляющих:

$$\Psi(t) = \Psi_0 + \bar{\Psi}_1(t) + \bar{\Psi}_2(t),$$

где Ψ_0 — случайная составляющая коэффициента сцепления, обусловленная действием причин, не зависящих ни от режима работы локомотива, ни от состояния пути и поверхности рельсов;

$\bar{\Psi}_1(t)$ — неслучайная средняя составляющая коэффициента сцепления, определяемая изменением режима работы локомотива;

$\Psi_2(t)$ — неслучайная средняя составляющая коэффициента сцепления, определяемая состоянием пути, контактных поверхностей бандажей и рельсов и т. д.

Конкретный вид функций $\Psi_1(t)$ и $\Psi_2(t)$ устанавливают в каждой задаче исходя из ее физического смысла и применительно к тем условиям, для которых определяют значение коэффициента сцепления.

На рис. II-6 представлен закон распределения значений коэффициента сцепления (жирная линия) для следующих условий.

1. Дисперсия нормального распределения случайных составляющих коэффициентов сцепления равна $\sigma_0^2 = 0{,}045^2$; $\bar{\psi}_0 = 0$.

2. Режим нарастания силы тяги характерен тем, что среднее значение ее в функции времени изменяется в соответствии с уравнением $F = F_к \tau^{0,2}$ (рис. II-6,*а*).

3. Разброс значений коэффициента сцепления в течение рассматриваемого времени, зависящий от состояния пути, принят подчиняющимся синусоидальному закону с амплитудой, равной величине среднего квадратичного отклонения $\sigma_\psi(\tau) = 0{,}045 \sin \tau$, как это представлено на рис. II-6, *б*.

На рис. II-6, *в* штриховая кривая представляет закон распределения значений коэффициента сцепления без учета рассматриваемого режима работы локомотива и изменения разброса значений коэффициента сцепления. Тонкая кривая соответствует закону распределения значений коэффициента сцепления, обусловленному режимом работы локомотива (см. рис. II-6, *а*);

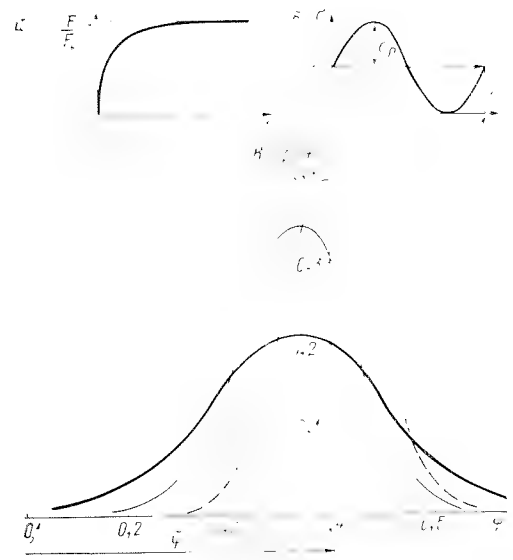


Рис. II-6. Влияние режима на коэффициент сцепления, а также состояния бандажей и рельсов

жирная кривая — результирующему закону распределения значений коэффициента сцепления с учетом изменения разброса (см. рис. II-6, *б*).

Результирующий закон распределения значений коэффициента сцепления резко отличается от нормального с параметрами $\sigma_0 = 0{,}045$ и $\bar{\psi} = 0{,}40$, представленного штриховой кривой на рис. II-6, *в*.

Законы распределения значений коэффициента сцепления весьма разнообразны: они зависят от вида функций $\bar{\Psi}_1(t)$ и $\bar{\Psi}_2(t)$. Эти законы приближаются к закону равной вероятности, когда $\bar{\Psi}_1(t)$ является линейной функцией, а $\bar{\Psi}_2(t)$, кроме того, — неубывающей. Если функция $\bar{\Psi}_2(t)$ убывающая, кривые распределения значений коэффициента сцепления имеют более острую вершину, что соответствует уменьшению разброса и стабилизации значений коэффициента сцепления.

Используя указанным образом теоретико-вероятностные методы, прогнозируют распределение значений коэффициента сцепления в зависимости от режима работы локомотива и условий его движения и тем самым степень использования силы сцепления колес локомотива с рельсами [7].

Сопротивление движению. Сопротивление движению W условно делят на три составляющие, зависящие от: типа подвижного состава и скорости его движения (основное сопротивление); плана и профиля пути (дополнительное сопротивление); особых условий движения (добавочное сопротивление).

Основным W_0 называют сопротивление движению на прямом и горизонтальном участке пути. Оно существует при любой скорости движения (в том числе и при $v = 0$) и зависит от внутреннего трения в узлах подвижного состава, сопротивления, возникающего при взаимодействии подвижного состава и пути, а также от сопротивления воздушной среды (при отсутствии ветра).

Дополнительное сопротивление движению обусловлено наличием уклонов и кривых. Для учета ветра, движения в тоннелях, низкой температуры наружного воздуха вводят еще добавочное сопротивление $W_{доб}$.

В общем виде сопротивление движению поезда

$$W = W_0 + W_д + W_{доб},$$

или

$$W = W_0 + W_i + W_r + W_{доб},$$

где W_i и W_r — сопротивление движению от уклонов и кривых соответственно.

Так как в поезде нельзя физически разделить сопротивление локомотива и вагонов, то сопротивление движению поезда условно представляют как сумму сопротивлений движению локомотива W' и состава W'' в виде $W = W' + W''$.

Удельное сопротивление движению поезда

$$w = \frac{w' P + \sum_1^n w''_i Q_{вi}}{G},$$

где w' — удельное сопротивление движению локомотива (моторного вагона);

w''_i — удельное сопротивление движению i-го типа (прицепных) вагонов;

P — вес локомотива, тс;

$Q_{вi}$ — вес вагонов i-го типа в составе;

$G = P + \sum_1^n Q_{вi}$ — вес поезда, тс;

n — число типов вагонов в составе.

При определении удельного сопротивления движению поезда нельзя суммировать удельные сопротивления движению локомотива и состава: необходимо w' и w'' умножить соответственно на вес локомотива и состава и отнести к их сумме $P + \sum_1^n Q_{вi}$.

Определить теоретическим путем значение основного сопротивления движению W_0 не представляется возможным. Поэтому рекомендуется при расчетах пользоваться эмпирическими формулами (табл. II-2), представляющими собой полиномы вида

$$w_0 = a + bv + cv^2.$$

Таблица II-2

Формулы для определения основного удельного сопротивления в зависимости от скорости движения [9]

Тип подвижного состава	Основное удельное сопротивление движению, кгс/тс, при v, км/ч
Электровозы при движении:	
под током	$w_0' = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2$
на выбеге	$w_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2$
Электропоезда ЭР1(ЭР2) при движении:	
под током	$w_0' = 1,1 + 0,01v + \left(0,00017 + \frac{0,00056}{m}\right) v^2$
на выбеге	$w_x = 1,1 + 0,01v + \left(0,00017 + \frac{0,00056}{m}\right) v^2 + (0,286 + 0,164v)\frac{z_м}{z_0}$, где m — общее число вагонов в поезде; $z_м$ — число моторных осей в поезде; z_0 — общее число осей в поезде
Электропоезд ЭР200 (14 вагонов) при движении:	
под током	$w_0' = 1,2 + 0,015v + 0,00012v^2$
на выбеге	$w_x = 1,6 + 0,016v + 0,00016v^2$
Электропоезда других серий при движении:	
под током	$w_0' = 0,6 + 0,03v + 0,00008v^2$
на выбеге	$w_x = 1,1 + 0,02v + 0,00023v^2$
Тепловозы при движении:	
в режиме тяги	$w_0' = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2$
на выбеге (на холостом ходу)	$w_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2$
Дизель-поезда при движении:	
в режиме тяги	$w_0' = 1,1 + 1,01v + \left(0,00234 + \frac{0,00645}{m}\right) \frac{v^2}{q_0}$, где m — общее число вагонов дизель-поезда; q_0 — средняя нагрузка от оси на рельсы
на выбеге (на холостом ходу)	$w_x = w_0' + w_з$
Дизель-поезда ДР1, Д1 и Д (силовые трансмиссии)	$w_з = \frac{1}{q_0}(6,5 + 0,2v)\frac{m_м}{m}$, где $m_м$ — число моторных вагонов дизель-поезда; m — общее число вагонов дизель-поезда
Дизель-поезда ДП	$w_з = \frac{4 + 0,23v}{q_0} \cdot \frac{2m_м}{m_м + 4m'}$.

Для электроподвижного состава и тепловозов условно различают сопротивление движению в режиме тяги и электрического торможения, а также в режиме выбега.

В режиме тяги (движение под током) силы сопротивления, обусловленные механическими потерями в тяговых двигателях, моторно-осевых подшипниках и зубчатой передаче не включают в сопротивление движению, поскольку эти составляющие учитывают при расчете тяговых и тормозных характеристик.

На выбеге эти силы прибавляют к сопротивлению движения, так как они покрываются за счет накопленной кинетической энергии поезда.

Поэтому при тяге и электрическом торможении расчетное значение сопротивления движению меньше, чем при выбеге (или при механическом торможении), на величину сил сопротивления, вызванных механическими потерями в тяговых двигателях, моторно-осевых подшипниках и зубчатой передаче (силовой трансмиссии).

Дополнительное сопротивление от уклона для всех видов подвижного состава, измеряемое в кгс/тс, численно равно величине уклона в тысячных:

$$w_i = \pm i \text{ кгс/тс}.$$

Движению по спуску соответствует знак плюс, движению на подъем — знак минус.

Дополнительное сопротивление от кривых w_r в кгс/тс рассчитывают по формулам:

а) если длина поезда меньше или равна длине кривой $S_{кр}$, то

$$w_r = \frac{700}{R} \text{ или } w_r = 12,2\frac{\alpha^\circ}{S_{кр}},$$

где α° — центральный угол;

б) при длине поезда $l_п$ больше длины кривой

$$w_r = \frac{700}{R} \cdot \frac{S_{кр}}{l_п} \text{ или } w_r = 12,2\frac{\alpha^\circ}{l_п}.$$

Добавочное сопротивление движению грузовых поездов зависит от встречного и бокового ветра (табл. II-3).

Таблица II-3

Добавочное сопротивление движению грузовых поездов

$v_в$, м/с	Величина $w_{доб}$ в % от w_0 при скорости движения, км/ч					
	20	40	60	80	100	120
8	21	16	13	10	8	6
10	31	24	18	14	11	9

Перечень участков, на которые распространяются данные табл. II-3, утверждается МПС.

Удельное сопротивление движению поезда на уклоне i (‰) с кривой радиуса R (м)

$$w = w_0 + i + w_r \text{ кгс/тс},$$

где w_0 — удельное основное средневзвешенное сопротивление движению поезда, подсчитанное в зависимости от типа локомотивов и вагонов.

Полное сопротивление движению

$$W = (w_0 + i + w_r)\,G \text{ кгс}.$$

Мероприятия по уменьшению сопротивления движению. Для существующего подвижного состава снижение сопротивления движению достигают в основном за счет: полной загрузки вагонов, снижающей сопротивление на 1 т перевозимого груза; формирования состава с расчетом уменьшения сопротивления воздушной среды от торцовых стенок крытых вагонов, следующих за единичными платформами в составе; закрытия дверей и люков в составах для снижения сопротивления обтекания состава встречным потоком воздуха; регулировки тормозов, устраняющей трение колодок о бандажи при отпущенных тормозах; применения сезонной смазки и тщательного ухода за смазкой букс; сокращения времени стоянок с целью облегчения условий трогания состава, особенно в зимнее время; надлежащего ухода за верхним строением пути, существенным образом влияющего на основное сопротивление движению.

При высоких скоростях движения особое значение для уменьшения сопротивления движению приобретает придание подвижному составу обтекаемой формы, снижающей сопротивление воздушной среды; перевод подвижного состава на роликовые подшипники, особенно выгодные при трогании состава с места; укладка бесстыкового пути, уменьшающего основное сопротивление движению; изменение плана и профиля пути с целью снижения дополнительного сопротивления движению за счет уменьшения крутизны уклонов и увеличения радиуса кривых.

Тормозные силы при механическом торможении поезда. В отличие от сил сопротивления движению тормозные силы являются управляемыми. Тормозная сила всегда направлена против движения поезда и является по отношению к нему внешней силой.

Существует механическое и электрическое торможение. Механическим торможением оборудованы локомотивы и вагоны, электрическим — только локомотивы (включая моторвагонный подвижной состав).

Тормозная сила поезда при механическом торможении

$$B = 1000\sum_{1}^{N} K\varphi_к,$$

где K — сила нажатия колодки на бандаж, тс;

N — число колодок в составе;

$\varphi_к$ — коэффициент трения колодки о бандаж.

Величина K зависит от давления в тормозном цилиндре, диаметра цилиндра, передаточного числа рычажной передачи и к. п. д. тормозной системы. Коэффициент трения $\varphi_к$ зависит в основном от материала колодки и бандажа, скорости движения и величины нажатия. Влияют на его величину также форма колодки, состояние трущихся поверхностей и их температура.

На подвижном составе применяют чугунные тормозные колодки стандартного типа, чугунные тормозные колодки с повышенным содержанием фосфора, а также тормозные колодки композиционные (асбест, каучук и т. п.). Действительные тормозные коэффициенты рассчитывают по формулам для:

чугунных стандартных колодок

$$\varphi_к = 0,6\,\frac{16K + 100}{80K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100};$$

чугунных колодок с содержанием фосфора 1,0—1,4%

$$\varphi_к = 0,5\,\frac{16K + 100}{52K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 10};$$

композиционных колодок типа 6КВ-10

$$\varphi_к = 0,44\,\frac{K + 20}{4K + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150},$$

где K — действительная сила нажатия на колодку, тс;

v — скорость, км/ч.

Для составов, сформированных из вагонов с разными величинами допустимых нажатий, тормозную силу определяют по расчетному коэффициенту трения $\varphi_{кр}$ и расчетной силе нажатия на колодку $K_р$. Условно принято значение $K_р = 2,7$ тс для чугунных колодок и $K_р = 1,6$ тс — для композиционных (как среднее значение действительной силы нажатия на колодку четырехосного вагона при груженом и порожнем режимах торможения). При

этих значениях $K_р$ расчетные коэффициенты трения для:

чугунных стандартных колодок

$$\varphi_{кр} = 0,27\,\frac{v+100}{5v+100};$$

чугунных колодок с повышенным содержанием фосфора

$$\varphi_{кр} = 0,30\,\frac{v+100}{5v+100};$$

композиционных колодок

$$\varphi_{кр} = 0,36\,\frac{v+150}{2v+150}.$$

Тормозную силу поезда определяют как $B = 1000\ \varphi_{кр}\Sigma K_р$.

или

$$\frac{K}{G_к} \leqslant \frac{\psi_к}{\varphi_к}.$$

Отношение силы нажатия колодки к сцепному весу колеса, т. е. коэффициент нажатия тормозной колодки

$$\delta = \frac{K}{G_к} \cdot \frac{\psi_к}{\varphi_к}.$$

Обычно во избежание юза принимают для локомотивов $\delta = 0,5$, для грузовых вагонов $\delta = 0,6 \div 0,7$ и пассажирских вагонов $\delta = 0,7 \div 0,9$. Расчетные значения $\psi_к$ в режиме торможения приведены в табл. II-4.

Таблица II-4

Расчетные значения коэффициентов сцепления колес с рельсами при торможении

Тип подвижного состава	Расчетная скорость, км/ч	Расчетный коэффициент сцепления $\varphi_к$, при нагрузке от одной колесной пары на рельс, тс										
		До 6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Локомотивы	20	—	—	—	—	—	—	0,118	0,113	0,109	0,106	0,103
	100	—	—	—	—	—	—	0,087	0,082	0,079	0,077	0,075
	160	—	—	—	—	—	—	0,080	0,075	0,070	—	—
Грузовые вагоны	20	0,129	0,125	0,121	0,118	0,114	0,110	0,106	0,103	0,100	0,097	0,094
	100	0,097	0,094	0,091	0,088	0,085	0,082	0,080	0,077	0,074	0,072	0,070
	120	0,092	0,089	0,086	0,083	0,081	0,078	0,075	0,073	0,070	0,068	0,066
Вагоны электро- и дизель-поездов, пассажирские и изотермические	40	0,139	0,135	0,132	0,127	0,123	0,119	0,115	0,111	0,107	0,104	—
	140	0,106	0,102	0,099	0,096	0,093	0,090	0,087	0,084	0,081	0,079	—
	160	0,102	0,099	0,096	0,093	0,090	0,087	0,084	0,081	0,078	0,076	—

В тяговых расчетах тормозную силу, как и все другие силы, относят к 1 тс веса поезда:

$$b = \frac{B}{P+Q} = 1000\varphi_{кр}\frac{\Sigma K_р}{P-Q}.$$

Расчетный тормозной коэффициент поезда

$$\vartheta_р = \frac{\Sigma K_р}{P+Q}.$$

Следовательно, $b = 1000\ \varphi_{кр}\vartheta_р$.

При применении экстренного торможения тормозной коэффициент принимают равным его полной величине (100%); при полном служебном торможении — 80% расчетной величины; при остановках, предусмотренных графиком движения, — 50% расчетного значения.

Ограничение нажатия на ось. Во избежание заклинивания (юза) колес тормозная сила не должна превышать силы сцепления колес с рельсом. Поэтому должно соблюдаться условие

$$K\varphi_к \leqslant 1000 G_к \psi_к$$

II-2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВОГО РЕЖИМА ЛОКОМОТИВОВ

Характеристики тягового режима электроподвижного состава. Различают электромеханические характеристики тяговых двигателей, электротяговые и тяговые характеристики электрических локомотивов.

Электромеханические характеристики тягового двигателя при постоянном напряжении U на его зажимах представляют собой следующие зависимости от тока I якоря: частоты вращения якоря (ротора) $n_a(I)$; вращающего момента $M(I)$; к. п. д. $\eta(I)$.

Номинальные электромеханические характеристики снимают при номинальном напряжении на зажимах тягового двигателя в процессе его типовых испытаний на стенде завода-изготовителя.

Аналитически скоростную характеристику $n_a(I)$ рассчитывают по формуле

$$n_a = \frac{U - Ir}{c\Phi}, \qquad (II\text{-}4)$$

где r — сопротивление цепи тягового двигателя;

$c\Phi$ — магнитный поток при токе I, для определения которого должна быть известна нагрузочная характеристика двигателя $c\Phi(I_в)$ при различных токах I.

Зависимость вращающего момента от тока якоря $M(I)$ находят из соотношения

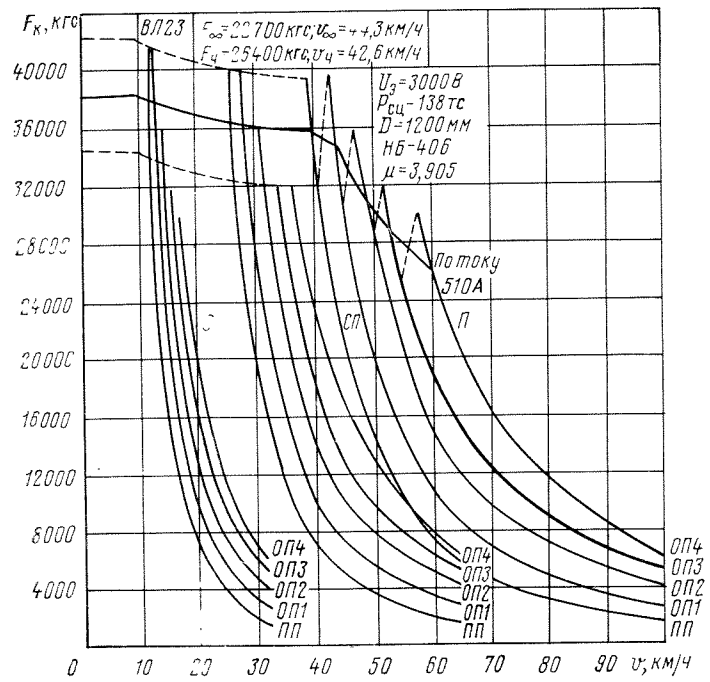


Рис. II-7. Тяговые характеристики электровоза ВЛ23

электромагнитной мощности тягового двигателя и потерь в нем:

$$\frac{Mn_a}{0,974} = UI - (I^2r + \Delta P_с + \Delta P_м + \Delta P_{доб}),$$

где $\Delta P_с$, $\Delta P_м$ и $\Delta P_{доб}$ — мощность магнитных и механических потерь в двигателе и добавочных потерь от вихревых токов соответственно.

Отсюда

$$M = M_{элм} - \frac{\Delta P_с + \Delta P_м + \Delta P_{доб}}{n}\,0,974, \qquad (II\text{-}5)$$

где $M_{элм} = c\Phi I$ — электромагнитный момент двигателя, кгс·м;

$c = \frac{1}{2}\,\frac{p}{2 \cdot 9,81\pi} \cdot \frac{z}{a}$ — постоянная двигателя;

p — число пар полюсов;

z и a — число проводников и число параллельных ветвей обмотки якоря.

Магнитные и механические потери определяют в процессе опытов на стенде завода-изготовителя как потери холостого хода при различных скоростях вращения и разных токах независимого возбуждения.

Дополнительные магнитные потери и потери в тяговой зубчатой передаче нормированы требованиями ГОСТ 2582—72.

Если учесть потери в тяговой передаче $\Delta P_з$ и пренебречь потерями $\Delta P_{доб}$, то зависимость к. п. д. двигателя от тока якоря определяется формулой

$$\eta = 1 - \frac{I^2r + \Delta P_с + \Delta P_м + \Delta P_з}{UI}. \qquad (II\text{-}6)$$

Электротяговые характеристики локомотива представляют собой следующие зависимости от тока якоря тягового двигателя: скорости движения $v(I)$; силы тяги $F(I)$; к. п. д. $\eta_э(I)$.

Эти характеристики, так же как и электромеханические, определяют при постоянном напряжении на зажимах двигателя.

Для получения скоростной электротяговой характеристики локомотива достаточно при данном значении тока якоря изменить масштаб скоростной электромеханической характеристики двигателя в отношении $v : n_a = 0,376D : 2\mu$, где D — диаметр колеса, м; μ — передаточное число тяговой зубчатой передачи; v в км/ч.

Электротяговую характеристику локомотива $F(I)$ можно получить из кривой $M(I)$ двигателя, изменив при данном значении тока якоря ее масштаб в отношении $F : M = \mu\eta_з : D/2$.

При условии, что к. п. д. зубчатой передачи $\eta_з = 1$, имеем простое соотношение масштабов: $F : M = \mu : D/2$.

При условии постоянства потерь в тяговой передаче ($\eta_з = \text{const}$) характеристику $\eta_э(I)$ можно получить из характеристики $\eta(I)$, изменив при данном значении тока масштабы в отношении $\eta_э : \eta = \eta_з : 1$.

Тяговой характеристикой локомотива называют зависимость его силы тяги от скорости движения $F(v)$, которую находят путем исключения из характеристик $F(I)$ и $v(I)$ значения тока; для существующих локомотивов зависимость $F(v)$ проверяют в процессе опытов на линии.

На рис. II-7 — II-12 приведены тяговые характеристики некоторых типов электроподвижного состава постоянного тока.

Интенсивность изменения силы тяги при изменении скорости движения называют коэффициентом жесткости тяговой характеристики и обозначают как

$$X = -\frac{dF}{dv}.$$

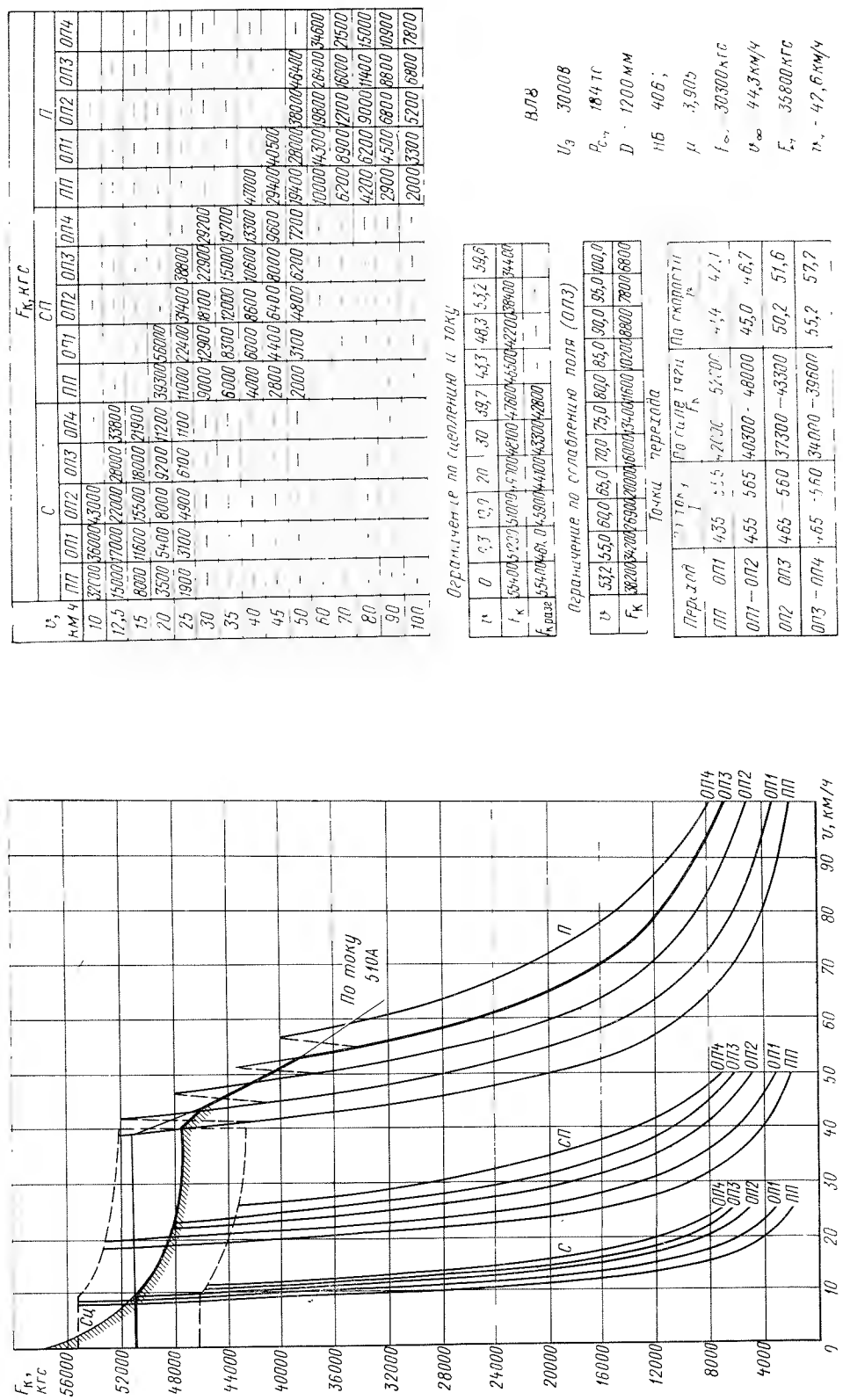


Рис. II-8. Тяговые характеристики электровоза ВЛ8

v, км/ч	С ПП	С ОП1	С ОП2	С ОП3	С ОП4	СП ПП	СП ОП1	СП ОП2	СП ОП3	СП ОП4	П ПП	П ОП1	П ОП2	П ОП3	П ОП4
10	32700	36000	43000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12,5	15000	17000	22000	28000	33800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	8000	11600	15500	18000	21900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	3500	5400	8000	9200	11200	33300	56000	—	—	—	—	—	—	—	—
25	1900	3100	4900	6100	7100	11000	22400	37400	38800	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	9000	12900	18100	22900	29200	—	—	—	—	—
35	—	—	—	—	—	6000	8300	12000	15000	19700	—	—	—	—	—
40	—	—	—	—	—	4000	6000	8600	10600	13300	47000	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	2800	4400	6400	8000	9600	29400	40500	—	—	—
50	—	—	—	—	—	2000	3100	4800	6200	7200	19400	28000	38000	46400	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10000	14300	19800	26400	34600
70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6200	8900	12100	16000	22500
80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4200	6200	9000	11400	15000
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2900	4500	6800	8800	10900
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2000	3300	5200	6800	7800

Ограничение по сцеплению и току

v	0	10,0	20	30	39,7	43,3	48,3	53,2	59,6
$F_к$	54400	52200	51000	47000	42100	36500	42200	38400	34400
$F_к$ разг	54400	48,5	43800	44100	43300	42800	—	—	—

Ограничение по ослаблению поля (ОП3)

v	53,2	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	100,0
$F_к$	38200	34200	30900	27000	24000	21000	18500	16000	13400	9800

Точки перехода

Переход	По току I	По силе тяги $F_к$	По скорости v
ПП — ОП1	435	24000 — 51000	44,1
ОП1 — ОП2	455	40300 — 48000	46,7
ОП2 — ОП3	465 — 560	37300 — 43300	50,2 — 51,6
ОП3 — ОП4	465 — 560	34000 — 39600	55,2 — 57,2

Коэффициент жесткости данной тяговой характеристики величина непостоянная: его значение зависит от нагрузки и, следовательно, от скорости движения. Коэффициентом относительной жесткости называют отношение

$$\chi = -\frac{v}{F} \cdot \frac{dF}{dv}.$$

В зависимости от величины χ различают мягкие и жесткие характеристики. При одинаковых нагрузках мягким характеристикам свойственны меньшие коэффициенты относительной жесткости, чем жестким.

У тяговых двигателей последовательного возбуждения с относительно мягкими характеристиками коэффициент $\chi \approx 2 \div 5{,}5$. Его конкретное значение зависит от степени насыщения магнитной системы и величины воздушного зазора, которые в конечном счете определяют зависимость $F(v)$ данного типа двигателя. При больших нагрузках характеристика $F(v)$ становится более жесткой.

Если $\chi = \text{const}_1$, то $Fv\chi = \text{const}_2$ — в логарифмических координатах это прямая с угловым коэффициентом χ. При $\chi = 1$ произведение $Fv = \text{const}_3$ — это гипербола или характеристика постоянства мощности, которая является благоприятной по нагрузке и использованию устройств энергоснабжения электрических железных дорог.

Поскольку характеристики двигателей последовательного возбуждения более жесткие, чем гиперболические, то для улучшения использования этих двигателей прибегают к искусственному регулированию магнитного потока путем регулирования возбуждения. Получают семейство мягких тяговых характеристик в большом диапазоне скоростей.

При жестких характеристиках, свойственных, например, двигателям с независимым возбуждением, увеличивается реализуемая сила сцепления. Поэтому жесткая характеристика значительно более благоприятна в отношении использования сцепного веса локомотива.

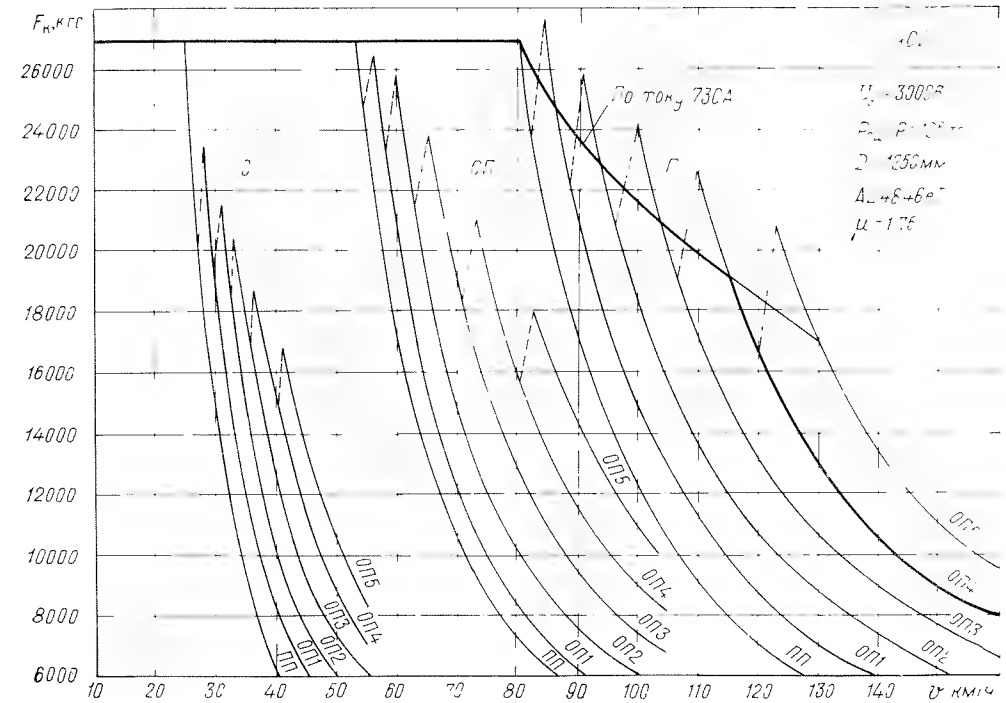
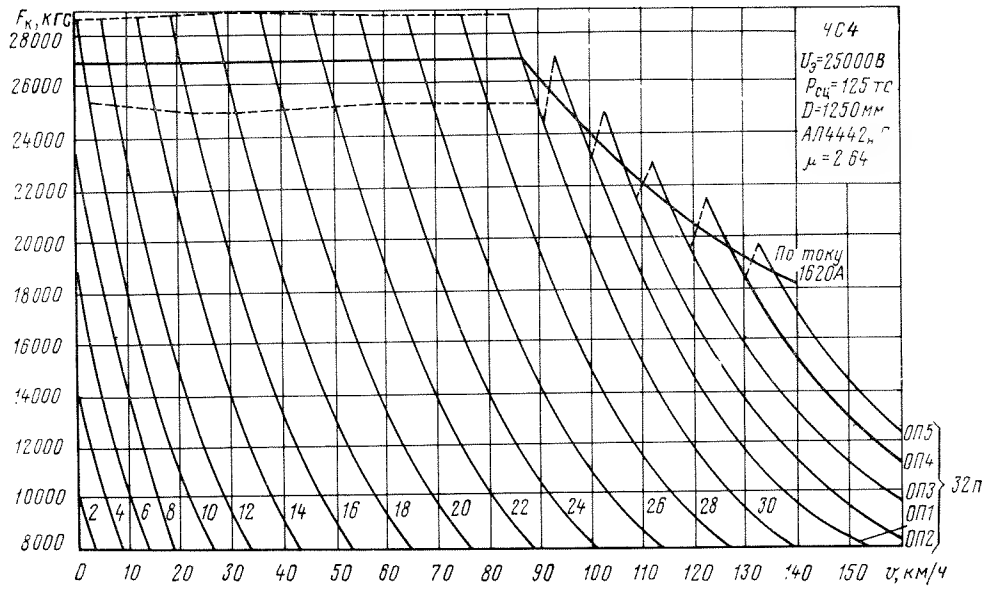


Рис. II-9. Тяговые характеристики электровоза ЧС2

При срыве сцепления сила тяги двигателя с жесткой характеристикой снижается гораздо интенсивнее, чем у двигателя с мягкой характеристикой и, следовательно, скорее приходит в равновесие с силой сцепления, благодаря чему быстрее восстанавливается нормальное качение колеса по рельсу [10]. Применение двигателей с независимым возбуждением особенно эффективно на холмистом профиле, позволяя реализовать коэффициент сцепления на 20÷÷25% больше, чем при мягких характеристиках. Недостатком жесткой характеристики является бо́льшая чувствительность к неравномерности распределения нагрузки между параллельно работающими двигателями из-за различия в характеристиках двигателей вследствие технологических и эксплуатационных причин.

В тяговых двигателях с жесткими характеристиками широко используют регулирование магнитного потока и подводимого напряжения, а у синхронных и асинхронных двигателей переменного тока



$F_к$																					
v	2п	4п	6п	8п	10п	12п	14п	16	18п	20п	22п	24п	26п	28п	30п	32п	32п ОП1	ОП2	ОП3	ОП4	ОП5
2,5	4500	8100	11900	16000	20100	25000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	6600	9900	13800	17500	22500	28100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	4200	6900	9900	13300	17700	22700	30800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	4700	7000	9900	13860	18410	25200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	5000	7200	10500	14800	20600	27400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	4000	6300	9100	13800	19100	25700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	—	—	—	—	—	3800	5800	8800	13000	18300	25300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—	3700	5900	8700	12700	18400	25000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	4000	6100	9000	13200	18600	25000	—	—	—	—	—	—	—	—
70	—	—	—	—	—	—	—	—	4300	6400	9400	13600	18700	24600	—	—	—	—	—	—	—
80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4700	7000	10000	14000	18700	25200	—	—	—	—	—	—
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5300	7600	10400	14300	19300	25600	29300	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4100	5900	8100	10900	14700	19400	23500	25900	—	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4700	6400	8500	11500	15100	18100	20800	23600	—	—
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3700	5200	6800	9000	11900	14300	16700	19300	20600	—
130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4200	5700	7300	9400	[illegible]	[illegible]	15800	[illegible]	[illegible]
140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4600	6100	7700	9800	[illegible]	13200	[illegible]	17100
150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3800	5100	6500	[illegible]	9700	11300	[illegible]	14400
160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4300	5500	[illegible]	8100	9600	[illegible]	12300

Точки перехода

Переход на 32	По силе тяги $F_к$	По скорости v
НП-ОП1	24400-27200	91-93
ОП1-ОП2	23100-24750	100-102
ОП2-ОП3	21350-22900	109-111,5
ОП3-ОП4	19500-21300	119,5-122
ОП4-ОП5	18400-19600	130-132

Ограничение по ослаблению поля

v	126,5	130	140	150	160
$F_к$	19700	18300	15200	12800	11100

Ограничение по току 1620 А

v	0	87	97	105	115,3	126,5	135,3
$F_к$	27000	27000	24800	23150	21350	19700	18650

$F_{к\infty}$ = 16400 кгс, v_∞ = 106,5 кгс 32пНП

$F_{кч}$ = 17200 кгс, $v_ч$ = 104,5 кгс 32пНП

$F_{к\infty}$, $F_{кч}$ считать при пульсирующем токе

Рис. II-10. Тяговые характеристики электровоза ЧС4

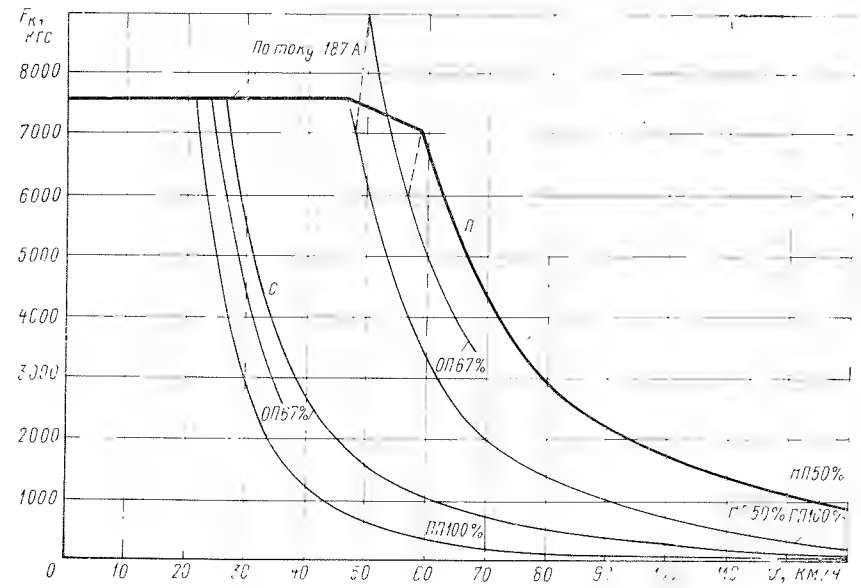
еще и частоты питающего тока, используя для этих целей тиристорные преобразователи.

Благодаря этому открываются новые перспективы использования многофазных асинхронных двигателей (рис. II-13) и вентильных в качестве тяговых на локомотивах.

Характеристики локомотива постоянного тока при регулировании скорости. Характеристики локомотива при различных ступенях регулирования скорости либо рассчитывают по выражениям (II-4)—(II-6), либо получают путем пересчета заданных характеристик, относящихся к одному из режимов работы тягового двигателя.

Характеристики локомотива при изменении напряжения, подводимого к тяговому двигателю, и сопротивления цепи. Если при напряжении U_1 на зажимах двигателя постоянного тока скорость локомотива v_1, то при напряжении U_2 на зажимах двигателя и том же токе I скорость движения

$$v_2 = v_1 \frac{U_2 - Ir}{U_1 - Ir}.$$



v, км/ч	$F_к$, кгс С ПП	С ОП67%	С НП50%	П ПП	П ОП67%	П НП50%
20	9500	—	—	—	—	—
22,5	7250	9275	—	—	—	—
25	5000	7000	9100	—	—	—
30	3000	4375	5500	—	—	—
35	1850	2825	3600	—	—	
40	1300	—	2650	—		—
45	925	—	2050	8950	—	—
50	675	—	1600	6000	8950	—
55	520	—	1320	4450	6550	8775
60	400	—	1060	3325	4950	6700
65	300	—	875	2525	3925	5220
70	225	-	750	2025	—	4245
80	175	—	570	1450	—	2940
90	125	—	400	1050	—	2180
100	100	—	300	775	—	1705
110	75	-	200	500	—	1370
120	50	—	150	350	—	1130
130	25	—	100	225	-	910

Точки перехода

Переход	ПП ОП	ОП НП
По току I	175-234	175-215
По силе тяги $F_к$	7000-8860	5990-7070
По скорости v	48,0-49,5	56,7-58,7

Режим	ПП
$F_{к\infty}$	3480
$F_{кч}$	5500
v_∞	59,0
$v_ч$	51,5

Ограничение по току

v	0	22,2	24,2	26,6	28,6	30,7	33,4	46,8	53,2	58,7
$F_к$	7600	7600	7600	7600	7600	7600	7600	7600	7320	7070
$F_{кразг}$	7000	7000	7760	5990	6350	5260	7000	7000	—	-

ЭР1 и ЭР2

$U_э$ = 3000 В, $P_{сц}$ = 63,5 тс

D = 1050 мм, μ = 3,17

ДК-106

Рис. II-11. Тяговые характеристики моторного вагона электропоездов ЭР1 и ЭР2

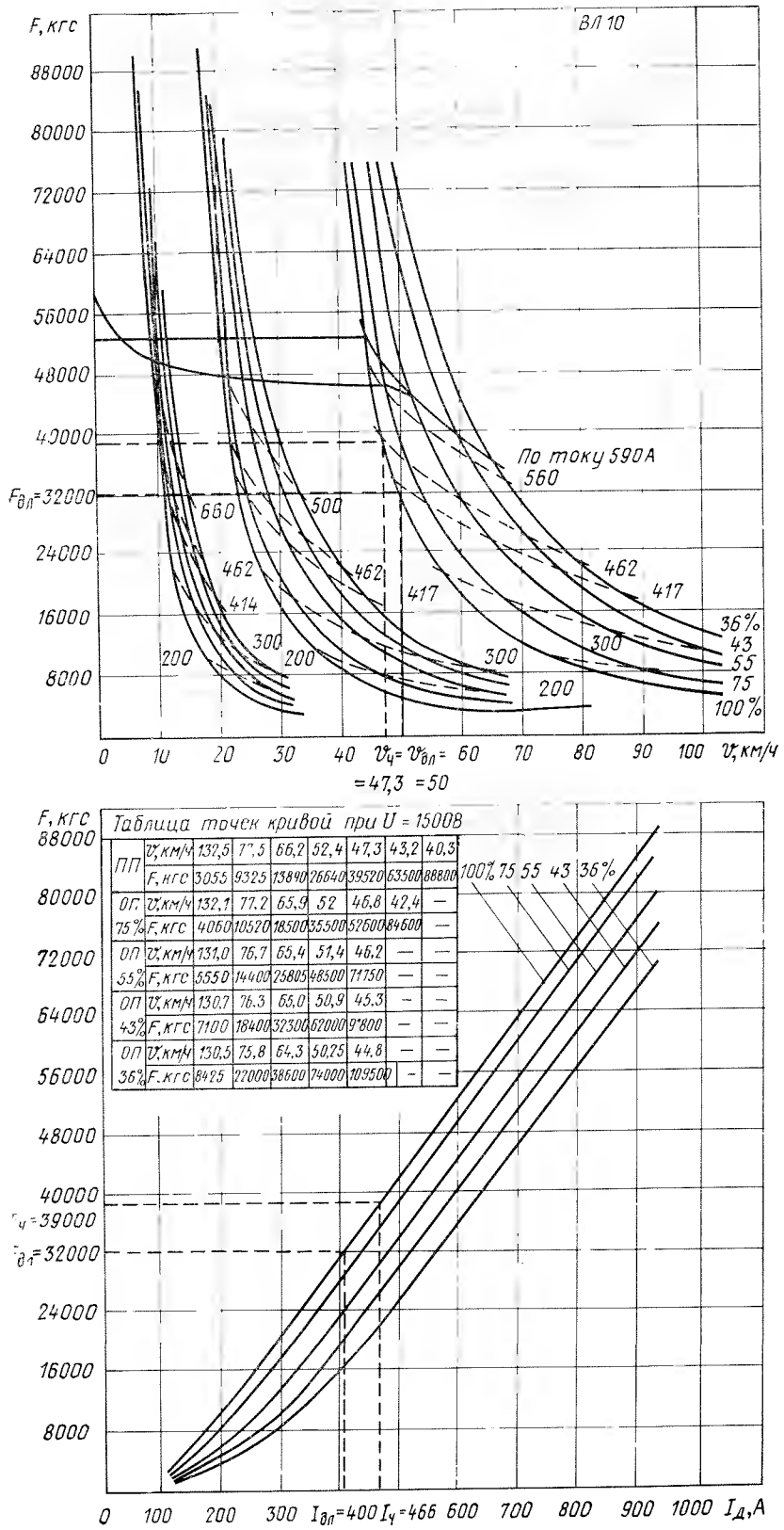


Рис. II-12. Тяговые характеристики электровоза ВЛ10

Обычно падение напряжения в двигателе Ir во много раз меньше напряжения на его зажимах. Поэтому приближенно

$$v_2 = v_1 \frac{U_2}{U_1},$$

т. е. для получения нового значения скорости v_2 достаточно значение v_1 изменить при данном токе пропорционально отношению $U_2 : U_1$.

При регулировании напряжения на зажимах тягового двигателя путем включения в цепь последовательно с якорем резистора R скорость

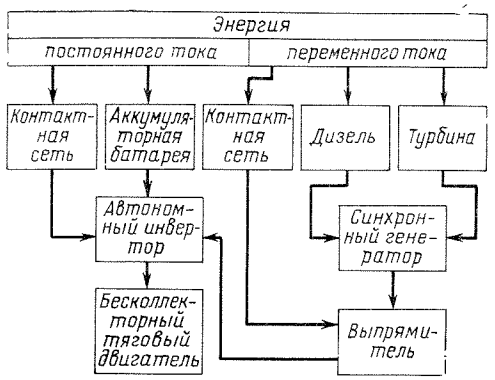


Рис. II-13. Классификация возможных систем применения асинхронных тяговых двигателей

$$v_R = \frac{U - Ir - IR}{c\Phi}.$$

Если известна скоростная характеристика локомотива $v(I)$, то при токе I

$$v_R = v\,\frac{U - Ir - IR}{U - Ir}.$$

При изменении напряжения на зажимах тягового двигателя несколько изменяются его магнитные и механические потери. Поскольку эти потери весьма малы по сравнению с силой тяги, то принято считать силу тяги, не зависящей от напряжения, приложенного к двигателю. Поэтому семейству скоростных характеристик локомотива $v(I)$ при различных значениях U соответствует практически одна характеристика $F(I)$.

Существенное влияние на к. п. д. двигателя оказывает изменение приложенного к нему напряжения. Считая, что сумма механических и магнитных потерь пропорциональна квадрату частоты вращения тягового двигателя, а следовательно, квадрату напряжения на его зажимах, величину к. п. д. двигателя η_2 при напряжении U_2 можно определить, используя значение к. п. д. η_1 при напряжении U_1:

$$\eta_2 = \eta_1 - \left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right)\left[Ir\left(\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2}\right) - (1 - \eta_1)\right].$$

При этом значение силы тяги локомотива

$$F_2 = \frac{U_2 I \eta_2}{0{,}367\, U_2} \text{ кгс}.$$

Характеристики локомотива при изменении магнитного поля тягового двигателя. Степень изменения намагничивающей силы (н. с.) характеризуют коэффициентом регулирования возбуждения $\beta_в$, представляющим собой отношение н. с. $F_{ип}$ измененного поля к н. с. $F_{ип}$ полного поля при одном и том же значении тока якоря:

$$\beta_в = \frac{F_{ип}}{F_{ип}}.$$

Для двигателя последовательного возбуждения при регулировании магнитного поля шунтированием обмотки возбуждения

$$\beta_в = \frac{I_{ви}}{I_в},$$

где $I_{ви}$ и $I_в$ — токи возбуждения при измененном и нормальном магнитных полях соответственно при одном и том же токе якоря.

При ослаблении поля $\beta_в < 1$, при усилении его $\beta_в > 1$.

Скорость v'_I при коэффициенте регулирования $\beta_в$ и токе якоря I

$$v' = \frac{U - I(r_a + \beta_в r_в)}{c\Phi'_{\beta I}}, \qquad \text{(II-7)}$$

где r_a — сопротивление якоря, дополнительных полюсов и компенсационной обмотки (в двигателе с компенсацией поля якоря);

$r_в$ — сопротивление обмотки возбуждения;

$c\Phi'_{\beta I}$ — магнитный поток двигателя при токе якоря I и н. с., обусловленной током возбуждения $\beta_в I$.

При известной зависимости $c\Phi(I_в)$ расчет скоростной характеристики ведут по формуле (II-7). Если же указанная зависимость неизвестна, то скоростную характеристику при измененном поле находят путем пересчета характеристики нормального поля. Для этого используют зависимость скорости при нормальном поле и токе якоря $\beta_в I$, но при н. с. измененного режима:

$$v_{\beta I} = \frac{U - \beta_в I(r_a + r_в)}{c\Phi_{\beta I}}. \qquad \text{(II-7а)}$$

Разделив выражение (II-7) на выражение (II-7а), получим

$$v'_I = v_{\beta I}\,\frac{U - I(r_a + \beta r_в)}{U - I(\beta r_a + \beta r_в)} \cdot \frac{\Phi_{\beta I}}{\Phi'_{\beta I}}.$$

Приближенно

$$v'_I = v_{\beta I}, \qquad \text{(II-7б)}$$

т. е. скорость v'_I при токе якоря I и коэффициенте регулирования возбуждения

$\beta_в$ принимают практически равной скорости при нормальном поле и токе якоря βI.

Перестроение скоростной характеристики нормального поля на характеристику измененного поля заключается в увеличении данного значения тока якоря в отношении 1: $\beta_в$ (рис. II-14) при выполнении равенства (II-7б).

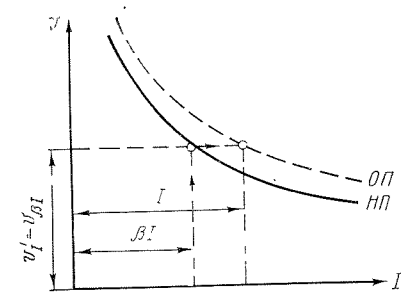


Рис. II-14. Перестроение скоростной характеристики ослабленного поля

Каждому значению $\beta_в$ соответствует своя скоростная характеристика. Каждой ступени регулирования поля придан свой индекс (в порядке изменения коэффициента $\beta_в$). Характеристики ослабленного поля обозначают буквами ОП с соответствующим индексом, характеристики усиленного поля — УП также со своими индексами.

Сила тяги локомотива при нормальном поле НП и токе якоря βI

$$F_{\beta I} = 0{,}367\,\frac{U\beta I\eta_{\beta I}}{v_{\beta I}}.$$

При измененном поле и токе βI сила тяги локомотива

$$F_I' = 0{,}367\,\frac{UI\eta_I'}{v_I'},$$

где η_I' — к. п. д. при измененном поле.

Для пересчета характеристики силы тяги локомотива с нормального поля на измененное используют соотношение

$$F_I' = \frac{F_{\beta I}}{\beta_в}.$$

Характеристику силы тяги локомотива в функции скорости при изменении поля можно получить графически из кривой $F(v)$ нормального поля, увеличив при одинаковых значениях скорости ординаты ее в 1 : $\beta_в$ раз (рис. II-15).

Если необходимо учесть разницу в к. п. д., пересчет значений к. п. д. при изменении поля производят по формуле

$$\eta_I' = \eta_{\beta I} + (1-\beta_в)(1-\eta_{\beta I}) - \frac{I\,[r_a(1-\beta_в^2) - \beta_в r_a(1-\beta_в)]}{U} - \frac{(1-\beta_в)}{100}\cdot(\Delta p_з)_{\beta I},$$

где η_I' — к. п. д. при измененном поле и токе якоря I;

$\eta_{\beta I}$ — к. п. д. при нормальном поле и токе якоря βI;

$(\Delta p_з)_{\beta I}$ — относительные потери в процентах при нагрузке βI, определяемые по ГОСТ 2582—72.

При этом в обоих режимах магнитные и механические потери в двигателе приближенно принимают одинаковыми (одинаковые скорости и магнитные потоки). Потери в передаче считают при одинаковых скоростях примерно пропорциональными силам тяги, а следовательно, и мощностям. Электрические потери в двигателе пропорциональны квадрату тока: при нормальном поле и токе якоря βI они равны $(\beta I)^2(r_a + r_в)$ и при измененном поле $I^2(r_a + \beta r_в)$.

Характеристики электрических локомотивов со статическими преобразователями. Для построения электромеханических характеристик тягового двигателя, электротяговых и тяговых характеристик локомотива со статическими преобразователями необходимо знать внешнюю характеристику выпрямительного агрегата, под которой понимают зависимость $U_d(I_d)$ — выпрямленного напряжения на выходе преобразователя от нагрузки (см. раздел XIII).

Расчет скоростной электротяговой характеристики локомотива $v(I)$ с учетом внешней характеристики выпрямителя на

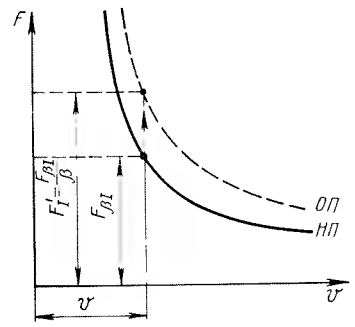


Рис. II-15. Построение тяговой характеристики ослабленного поля

каждой ступени регулирования при наибольшем магнитном поле ведут по формуле

$$v = v_0\,\frac{\dfrac{U_{2н}}{\kappa_0} - \xi_1\dfrac{2}{\pi}\,I\,n_п X - I\,n_п(\xi_2 R + R_d)}{U_н - I(r_a + \beta_0 r_в)} - \frac{\Delta U_в + I n_{посл}(r_a + \beta r_в)}{U_н - I(r_a + \beta_0 r_в)},$$

где $U_{2н}$ — напряжение холостого хода вторичной обмотки трансформатора;

v_0 — скорость при токе I, номинальном напряжении $U_н$ двигателя и коэффициенте $\beta_0 = 0{,}95$; $\xi_1 = 1{,}1$; $\xi_2 = 0{,}7 \div 0{,}8$;

$\Delta U_в$ — падение напряжения в преобразователе;

κ_0 — коэффициент регулирования напряжения на данной ступени;

$n_п$ и $n_{посл}$ — количество параллельно и последовательно включенных ветвей соответственно.

Пересчет на ослабленное поле скоростных характеристик ведут тем же способом, что и для тяговых двигателей постоянного тока. Скорость v_0 соответствует постоянному ослаблению поля с коэффициентом β_0.

$\eta_в$ — к. п. д. выпрямительного агрегата (см. раздел IX);

$U_с$ — номинальное напряжение контактной сети.

Тяговые характеристики тепловозов, дизель-поездов и газотурбовозов. Тяговые характеристики автономных локомотивов определяются свойствами (характеристиками) первичных двигателей (дизель, газовая турбина) и тяговых передач.

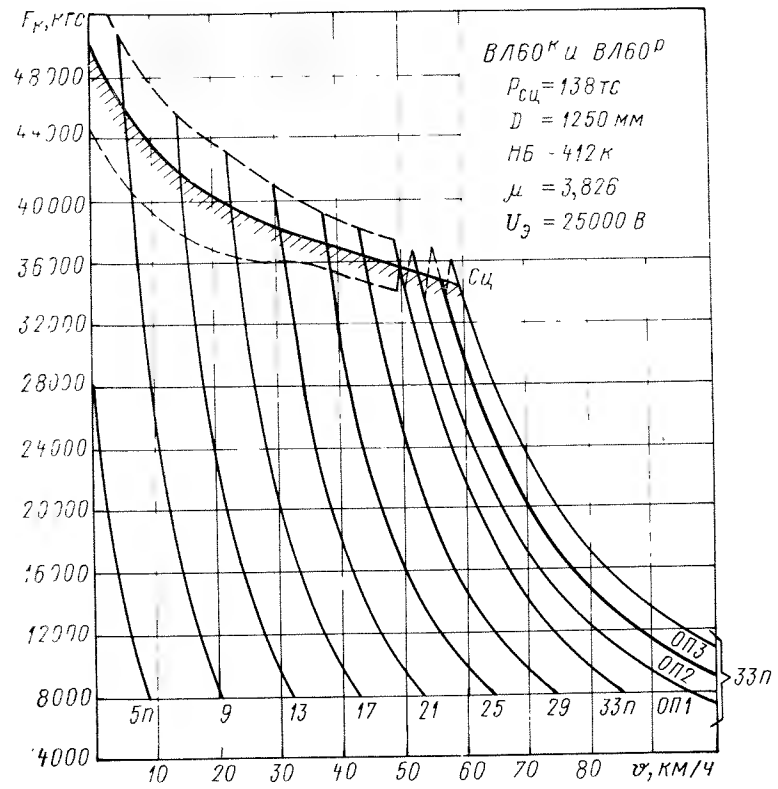


Рис. II-16. Тяговые характеристики электровозов ВЛ60к и ВЛ60р с тяговыми двигателями НБ-412К

Характеристику силы тяги $F(I)$ рассчитывают так же, как и для локомотивов постоянного тока, поскольку сила тяги практически не зависит от приложенного напряжения. На рис. II-16 — II-18 приведены тяговые характеристики электроподвижного состава отечественных железных дорог однофазно-постоянного тока.

Влияние пульсаций выпрямленного тока, вызывающих некоторое увеличение магнитных потерь, на величину силы тяги обычно устанавливают на основании опытных данных.

Активную составляющую тока I_{1a}, потребляемую из сети однофазного тока, определяют из соотношения

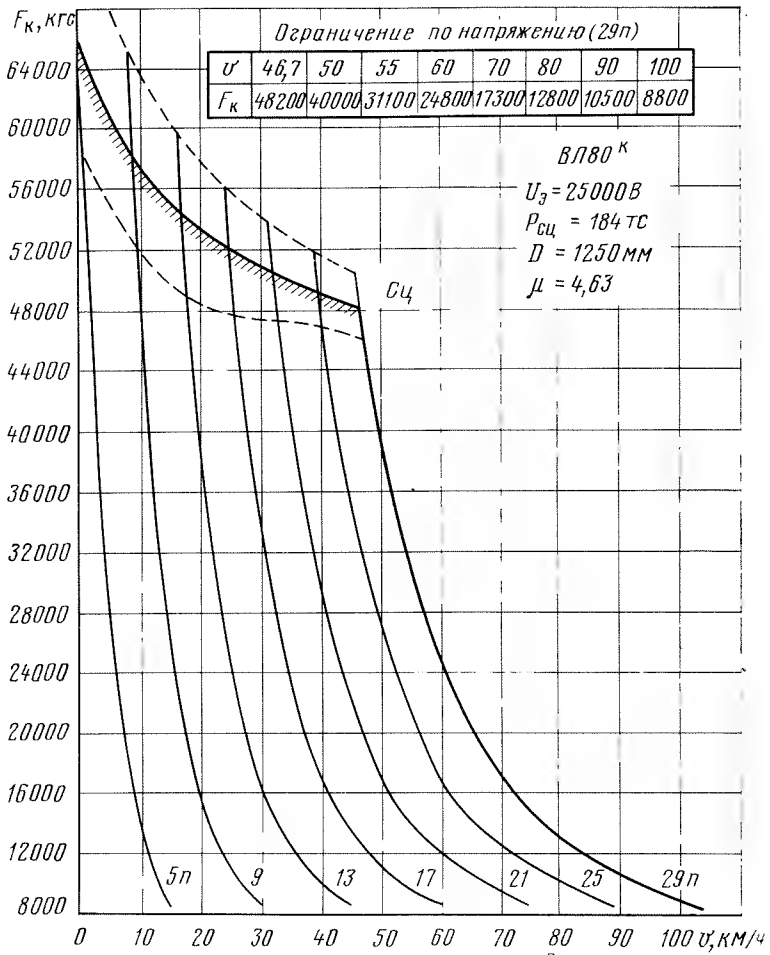
$$I_{1a} = \frac{U_d\,I n_п}{U_с\,\eta_в},$$

где U_d — выпрямленное напряжение на зажимах двигателя;

Характеристиками тепловозных дизелей называют зависимости показателей их работы (эффективной мощности N_e, вращающего момента на коленчатом валу M_e, эффективного к. п. д. η_e, удельного эффективного расхода топлива g_e и др.) от частоты вращения коленчатого вала n или нагрузки при различных условиях эксплуатации (см. рис. II-19).

Скоростными характеристиками дизеля называют изменение любого из параметров его работы (N_e, M_e, η_e и т. д.) в зависимости от частоты вращения коленчатого вала n при условии постоянства величины цикловой подачи топлива $g_ц$ (практически — при условии постоянства положения органа, регулирующего величину $g_ц$).

Скоростная характеристика I, проходящая через точку номинального режима A (см. рис. II-19), называется внешней (рейки топливных насосов находятся на упоре). Семейство скоростных характерис-



v	Fк						
	5п	9п	13п	17п	21п	25п	29п*
0	62000	—	—	—	—	—	—
2,5	45000	—	—	—	—	—	—
5	28000	—	—	—	—		—
7,5	19400	69000	—	—	—	—	—
10	13500	51400	—	—	—		
15	8500	26000	67200	—	—		—
20	—	15500	39400	81000	—	—	—
25	—	11000	24600	52400	—	—	
30	—	8600	16600	34400	63000	—	—
35		—	12600	24000	42300	68300	—
40	—	—	10200	17000	30400	48700	—
45	—	—	8600	13450	22800	35300	53700
50	—	—	—	11100	17200	27600	40000
60		—	—	8550	12100	16900	24400
70		—	—	—	9500	12500	17300
80	—	—	—	—	—	10100	12800
90	—	—	—	—	—	—	10500
100	—	—	—	—	—	—	8800

Ограничение по сцеплению

v	Fк	Fк разг
0	66200	66200
5	60900	55200
9	58000	52600
17	54300	49100
25	52000	47700
32,5	50500	47300
39,7	49400	47000
46,7	48200	46200

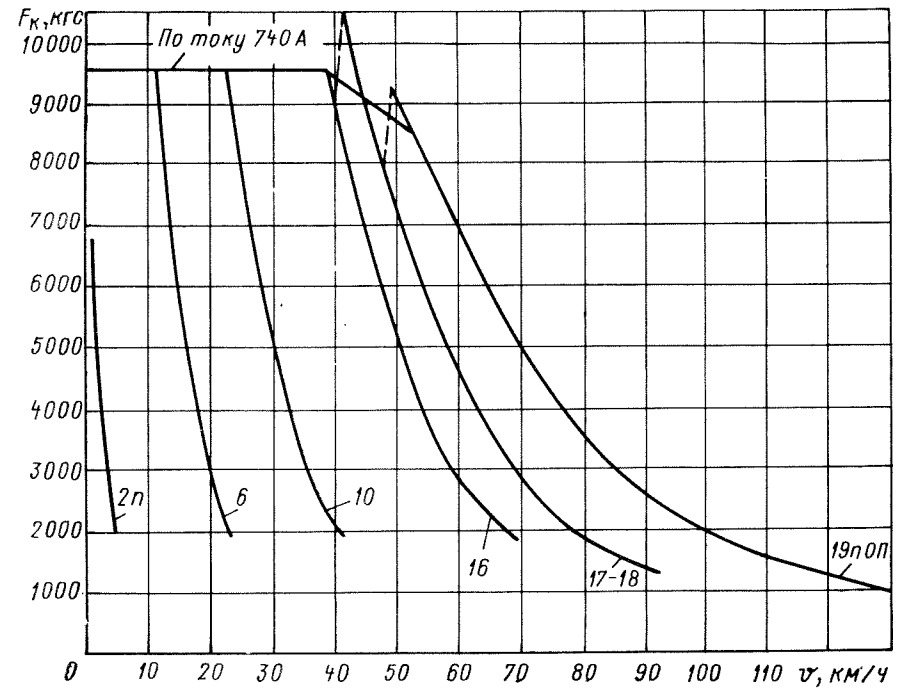
$F_{к\infty}$ = 36800 кгс

v_∞ = 51,6 км/ч; 29п НП

$F_{кц}$ = 42,700 кгс

$v_ц$ = 48,8 км/ч, 29п НП

Рис. II-17. Тяговые характеристики электровозов ВЛ80к с тяговыми двигателями НБ-418К6



Ограничение по току

v	0	11,0	33,5	44,0	52,5
Fк	9550	9550	9550	9100	8500
Fк разг.	8950	8950	8950	—	—

Режим	При пульсирующем токе					
	НП 53,5 %			ОП 32 %		
	Fк	v	I	Fк	v	I
Часовой	4050	62,7	430	3425	81	480
Длительный	2775	70,6	330	2250	96,0	370

Точки перехода

Переход		По току I	По силе тяги Fк	По скорости v
16п-18п	УП-НП	700-910	8950-10600	39,7-40,8
18п-19п	НП-ОП	700-970	7700-9250	48,2-49,3

Серия ЭР9 (ЭР9п)

$U_з$ = 25 000 В РТ-51Д

$P_{сц}$ = 70,7 тс μ = 3,17

D = 1050 мм

v	Fк					
	2п НП	6п НП	10п НП	16п НП	17-18п НП	19п ОП
1	6000	—	—	—	—	—
2	4500	—	—	—	—	—
4	2350	—	—	—	—	—
10	—	10600	—	—	—	—
15	—	5750	—	—	—	—
20	—	2825	—	—	—	—
22	—	2225	9750	—	—	—
25	—	—	7650	—	—	—
30	—	—	4925	—	—	—
35	—	—	3130	—	—	—
37,5	—	—	2570	10050	—	—
40	—	—	—	8870	—	—
42,5	—	—	—	7770	9900	—
45	—	—	—	6820	8800	—
50	—	—	—	5100	7170	9050
60	—	—	—	2880	4625	6900
70	—	—	—	1850	2850	4980
80	—	—	—	—	1970	3550
90	—	—	—	—	1500	2600
100	—	—	—	—	—	2050
110	—	—	—	—	—	1650
120	—	—	—	—	—	1300
130	—	—	—	—	—	1020

Рис. II-18. Тяговые характеристики моторного вагона электропоезда ЭР9 и ЭР9П

тик, отличающихся от внешней меньшей величиной $g_ц$, называют частичными.

Эффективная мощность дизеля

$$N_e = \frac{V_s i p_e n}{225\tau} = C p_e n \text{ л. с.}, \quad (II\text{-}8)$$

где V_s — рабочий объем цилиндра, л;
i — число цилиндров;
p_e — среднее эффективное давление, кгс/см²;
n — частота вращения коленчатого вала, об/мин;
τ — число тактов в рабочем цикле ($\tau = 2$ у двухтактных дизелей и $\tau = 4$ — у четырехтактных);
$C = \frac{V_s i}{225\tau}$ — величина, постоянная для дизеля данного типа.

Величина среднего эффективного давления является функцией параметров, зависящих от n:

$$p_e = \frac{27}{632} \cdot \frac{Q_н}{L_0'} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \rho_к \eta_V \eta_м =$$

$$= C' \frac{\eta_i}{\alpha} \rho_к \eta_V \eta_м \text{ кгс/см}^2,$$

где $Q_н$ — теплота сгорания топлива по низшему пределу, ккал/кг;
L_0' — количество воздуха, теоретически необходимое для полного сжигания 1 кг топлива, кг/кг;
η_i — индикаторный к. п. д. дизеля;
α — коэффициент избытка воздуха;
$\rho_к$ — плотность воздуха перед впускными органами дизеля (впускные клапаны, продувочные окна), кг/м³;
η_V — коэффициент наполнения цилиндров дизеля;
$\eta_м$ — механический к. п. д. дизеля.

Характер изменения p_e (по внешней характеристике) определяется наличием наддува, его типом и типом применяемого нагнетателя. Для безнаддувных дизелей величина p_e по внешней характеристике обычно несколько возрастает с уменьшением частоты вращения коленчатого вала n до некоторого значения, а затем уменьшается. Поэтому изменение N_e по внешней характеристике (рис. II-19) происходит не по прямой OA, характерной для p_e, независимого от n, а по кривой *1*. Для дизелей с наддувом от приводного нагнетателя характер изменения p_e по внешней характеристике обычно остается таким же, как и для безнаддувного дизеля. При высоком газотурбинном наддуве, характерном для современных тепловозных дизелей, p_e по внешней характеристике снижается по мере уменьшения n.

Вращающий момент M_e на коленчатом валу дизеля изменяется по внешней характеристике так же, как и p_e (кривая *2*):

$$M_e = 716{,}2 \frac{N_e}{n} = 716{,}2 C p_e \text{ кгс·м}. \quad (II\text{-}9)$$

Отношение максимального вращающего момента к вращающему моменту M_{A1} при номинальном режиме $\kappa = \frac{M_{max}}{M_{A1}}$ называют коэффициентом приспособляемости дизеля. Для дизелей $\kappa = 1{,}15 \div 1{,}25$ (по внешней характеристике). Тепловозные дизели с высоким газотурбинным наддувом имеют $\kappa \approx 1$.

Рабочие режимы дизеля ограничиваются максимальными возможностями тяговой передачи. Поэтому генераторные и винтовые характеристики одновременно являются и характеристиками дизеля.

Кроме того, возможные в эксплуатации режимы работы дизеля ограничиваются регулятором частоты вращения его коленчатого вала.

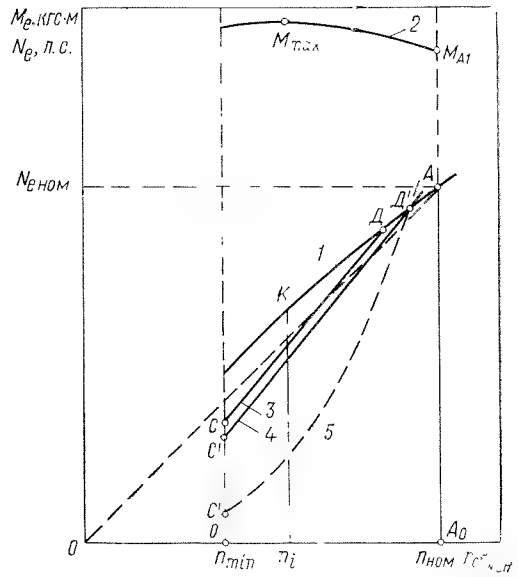


Рис. II-19. Характеристики тепловозных дизелей: *1, 2* — внешние скоростные; *3* — ограничительная; *4* — генераторная; *5* — винтовая

Современные тепловозные дизели с высоким наддувом (с приводным центробежным или газотурбонагнетателем) обычно не могут работать в режиме, соответствующем внешней характеристике во всем диапазоне рабочих частот вращения, так как с понижением n существенно уменьшается величина коэффициента избытка воздуха α. При этом повышаются максимальные температуры процесса горения, увеличивается теплонапряженность деталей цилиндро-поршневой группы, которая может достигнуть недопустимых значений по величине моторесурса и надежности работы или недопустимых величин температуры выхлопных газов (по условиям работы турбины газотурбонагнетателя).

Для таких дизелей устанавливают ограничительную характеристику *3*, лежащую в некотором интервале n ниже внешней характеристики. Возможные установившиеся режимы дизеля ограничены площадью $O'СДАА_0$. Однако в пределах этой площади практически могут быть реализованы установившиеся режимы, соответствующие свойствам тяговой передачи.

Характеристикой тяговой передачи называют линию, соединяющую точки максимальной мощности, которую может воспринять передача в рабочем диапазоне при любых заданных частотах вращения коленчатого вала n (линия $СДА$). С учетом мощности, отбираемой от дизеля для вспомогательных нужд, эта характеристика лежит ниже линии $СДА$. Во всех случаях характеристика должна обеспечивать возможность реализации номинального режима работы дизеля.

Характеристика электрической передачи называется генераторной (кривая *4*, рис. II-19); она определяется зависимостью максимальной мощности генератора от частоты вращения коленчатого вала дизеля n. Форма генераторной характеристики зависит от характера изменения тока возбуждения. Режимы работы электрической передачи ограничены площадью $O'С'Д'АА_0$.

При гидравлической передаче максимальная мощность N, воспринимаемая ее входным валом (насосным колесом), зависит от частоты вращения n коленчатого вала дизеля $N = an^3$ (кривая *5*). Режимы ограничены площадью $O'С''Д'АА_0$.

Используемые на тепловозных дизелях всережимные изодромные регуляторы и система управления ими позволяют лишь ступенчато изменять частоту вращения коленчатого вала, т. е. дизель может работать только при фиксированных ее значениях, соответствующих определенным позициям контроллера (в пределах от n_{min} до $n_{ном}$). Некоторые типы всережимных регуляторов (например, установленные на дизелях Д50, 2Д100) позволяют осуществлять режимы работы дизеля при n = const в пределах от холостого хода до внешней или ограничительной характеристики. На рис. II-19 такие режимы характеризуются прямой n_i *к*, соответствующей i-й позиции контроллера машиниста (нагрузочная характеристика.) Нагрузочные характеристики представляют собой зависимости любого из параметров работы дизеля от его нагрузки (N_e или p_e) при постоянной частоте вращения коленчатого вала. При таких регуляторах машинист, руководствуясь опытом и картами вождения поездов, изменяет позиции контроллера таким образом, чтобы выдержать график движения поезда при наименьшем расходе топлива.

Универсальные или многопараметровые характеристики представляют функциональную зависимость двух или более параметров работы дизеля от частоты вращения коленчатого вала.

На рис. II-20 представлена универсальная характеристика, показывающая зависимость относительной эффективной мощности $\frac{N_e}{N_{ном}}$ и удельного эффективного расхода топлива g_e от относительной частоты вращения коленчатого вала. Кривая $СД$ — ограничительная характеристика (по температуре выхлопных газов); $ДА$ — внешняя характеристика. Эллипсовидные кривые представляют собой геометрические места точек с равными удельными эффективными расходами топлива (или равными эффективными к. п .д.), значения которых указаны применительно к каждой кривой в г/э. л. с. ч. Штриховая линия $С'А$, соединяющая точки нагрузочных характеристик с минимальными значениями эффективных расходов топлива, называется экономической характеристикой дизеля. Прямые *2, 3, 4... 12, 13, 14* на рис. II-20 соответствуют 2, 3, 4-й...12, 13, 14-й позициям контроллера машиниста. Генераторные характеристики электрической передачи стремятся совместить с экономической характеристикой дизеля. На современных дизелях устанавливают объединенные регуляторы, которые, кроме поддержания заданной частоты вращения коленчатого вала, путем воздействия на рейку топливных насосов устанавливают нагрузку генератора, изменяя его возбуждение. При таком регуляторе невозможно осуществить режимы, находящиеся ниже генераторной характеристики. Это позволяет полнее использовать эффективную мощность дизеля при каждом режиме (увеличивать мощность, отдаваемую для тяги, за счет мощности отключаемых вспомогательных агрегатов).

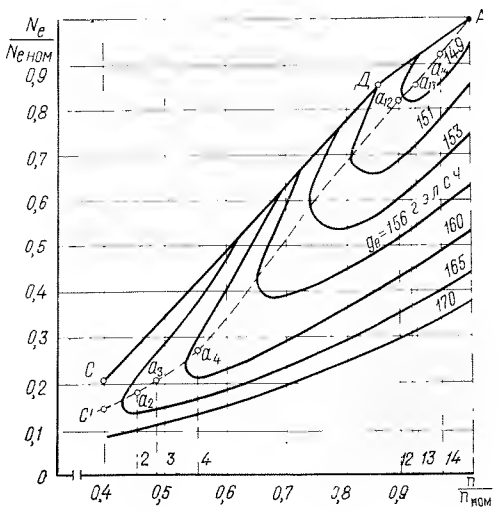


Рис. II-20. Универсальная (сплошные кривые) и экономическая (штриховая) характеристики дизеля

Характеристики газотурбинных установок (ГТУ). Эффективная мощность ГТУ

$$N_e = N_{iт} \eta_т \eta_м' - \frac{N_{iк}}{\eta_к}, \quad (II\text{-}10)$$

где $N_{iт}$ и $N_{iк}$ — внутренние мощности турбины и компрессора;
$\eta_т$ и $\eta_к$ — внутренние к. п. д. турбины и компрессора;
$\eta_м'$ — механический к. п. д. ГТУ, отнесенный к внутренней мощности турбины.

Характер изменения мощности и вращающего момента на валу ГТУ определяется ее схемой, термодинамическими параметрами газа на входе в турбину, степенью сжатия воздуха в компрессоре, степенью расширения газа в турбине, к. п. д. турбины и компрессора. При данной конструк-

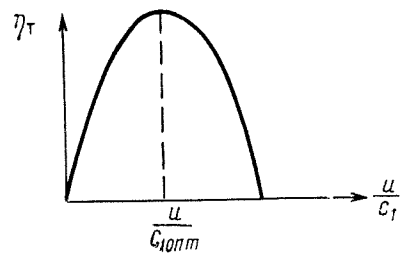


Рис. II-21. Характер изменения к. п. д. газовой турбины от отношения $\frac{u}{c_1}$

ции турбины и термодинамических параметрах газа на входе внутренний к. п. д. турбины зависит от отношения окружной скорости турбинного колеса u к абсолютной скорости входа газа на колесо c_1 (рис. II-21). Такой характер изменения $\eta_т$ предопределяет характер изменения эффективной мощности ГТУ и эффективного вращающего момента в зависимости от частоты вращения вала. На рис. II-22 показан характер изменения относительных мощности $N_т$ и вращающего момента $\overline{M}_{ет}$ для одновальной (кривая *1*) и двухвальной (*2*) ГТУ в функции относительной частоты вращения вала турбины.

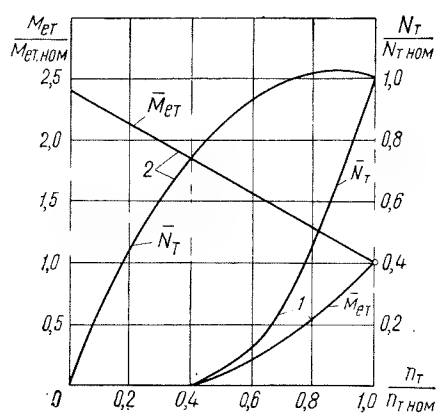


Рис. II-22. Внешние характеристики одновальной (*1*) и двухвальной (*2*) ГТУ:
$N_т$ — эффективные мощности; $M_{ет}$ — эффективные вращающие моменты

Передача мощности на оси автономного локомотива. Мощность локомотива на ободе движущих колес

$$N_к = \frac{F_к v}{270} \text{ л. с.}, \qquad (II\text{-}11)$$

где $F_к$ — касательная сила тяги локомотива, кгс;
v — скорость движения локомотива, км/ч.

Касательную силу тяги автономного локомотива по сцеплению определяют, как и для неавтономного локомотива, при

$$\psi_к = 0{,}25 + \frac{8}{100 + 20v}.$$

Автономные локомотивы стремятся проектировать таким образом, чтобы при заданной скорости на руководящем подъеме часовая касательная сила тяги $F_к$ равнялась предельному значению $F_{к.сц}$ (точка *2* на рис. II-23). Скорость $v_п$ называют скоростью порога. Минимальный удельный вес и максимальные технические скорости имеют магистральные автономные локомотивы при мощности, соответствующей скорости порога, постоянной при всех скоростях движения поезда. В этом случае сила тяги $F_к$ (линия *2—3*) в диапазоне скоростей от $v_п$ до v_0 изменяется по гиперболе; ее значения при скорости порога в 5—6 раз больше, чем при максимальной скорости на площадке.

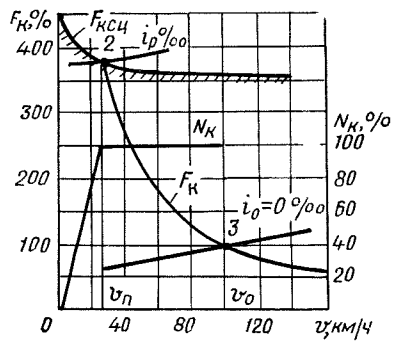


Рис. II-23. Тяговая характеристика автономного локомотива

Для обеспечения изменения силы тяги автономного локомотива по гиперболе его первичный двигатель должен характеризоваться постоянством мощности и гиперболическим характером изменения эффективного вращающего момента в диапазоне частот вращения вала, соответствующем диапазону скоростей движения локомотива от $v_п$ до v_0. Изменение мощности и вращающего момента по внешней характеристике дизелей и одновальных ГТУ не удовлетворяют этому условию. Диапазон изменения частот вращения коленчатого вала дизелей также не соответствует требуемому диапазону изменения скоростей от $v_п$ до v_0; наименьшая частота вращения коленчатого вала современных тепловозных дизелей составляет $^1/_2$—$^1/_4$ от номинальной. Кроме того, дизель не может быть пущен в ход под нагрузкой без постороннего источника энергии.

Несоответствие требований, предъявляемых к тяговой характеристике автономных локомотивов, возможностям первичных двигателей (дизель, ГТУ) приводит к необходимости применения специальных тяговых передач, которые должны обеспечивать: гиперболический (или близкий к нему) характер изменения силы тяги при работе первичного двигателя в узком диапазоне частот вращения вала и бесступенчатое непрерывное ее изменение в широком диапазоне изменения скорости движения локомотива; возможность длительной реализации максимальных значений силы тяги, близких к ограничению по сцеплению; реверсирование локомотива при нереверсивном двигателе и идентичность тяговых характеристик при переднем и заднем его ходе; запуск первичного двигателя на ходу при помощи соответствующих вспомогательных средств, отсоединение двигателя от движущих осей как на стоянке, так и при движении; возможно более высокий к. п. д. локомотива на всех режимах его работы и использование мощности первичного двигателя; осуществление управления по системе многих единиц; возможность полной автоматизации работы передачи и двигателя; осуществление дополнительного торможения; отсутствие динамических нагрузок на двигатель; минимальные вес и габаритные размеры, низкую строительную стоимость, небольшую затрату дефицитных материалов при высокой эксплуатационной надежности, удобство обслуживания и минимальные эксплуатационные затраты.

Сложность и разносторонность требований, предъявляемых к тяговым передачам автономных локомотивов, привела к значительному разнообразию их принципиальных схем и конструкций (рис. II-24). В настоящее время применяют механические, электрические (постоянного, постоянно-переменного и переменного токов) и гидравлические (гидростатические и гидродинамические) тяговые передачи. Наиболее распространенной является электрическая передача постоянного тока. На тепловозах мощностью 3000 л. с. и более применяют передачу переменно-постоянного тока. В стадии эксплуатационных испытаний находятся опытные тепловозы с перспективными передачами переменного тока.

Гидродинамические передачи получили большое распространение на дизель-поездах, маневровых тепловозах, тепловозах промышленного транспорта и ограниченное на магистральных тепловозах с мощностью до 4000 и даже до 6000 л. с. (с двумя дизелями в секции). Гидродинамические передачи легче и дешевле электрических, но в эксплуатации имеют более низкий к. п. д. Гидростатические передачи в качестве тяговых на отечественных локомотивах не применяют.

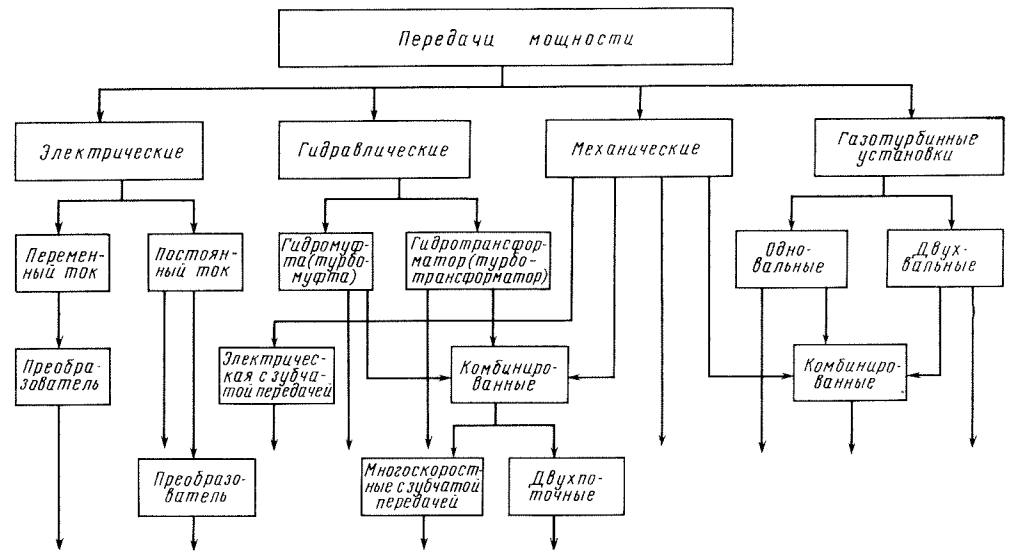


Рис. II-24. Классификация передач мощности

Механические передачи просты по конструкции, легки, дешевы, имеют высокий к. п. д. и применяются в автомотрисах, мотовозах, дизель-поездах и маневровых тепловозах мощностью до 800 л. с. При больших мощностях их применение становится невыгодным.

Сила тяги локомотива по первичному двигателю. Касательная мощность автономного локомотива

$$N_к = \beta N_{ед}\, \eta_р\, \eta_{пер}\, \eta_м \text{ л. с.}, \qquad (II\text{-}12)$$

где β — коэффициент свободной мощности (доля эффективной мощности двигателя, используемая для тяги);
$N_{ед}$ — эффективная мощность двигателя в рассматриваемом режиме работы, л. с.;
$\eta_р$ — к. п. д. редуктора между валом двигателя и входным валом передачи (при отсутствии редуктора $\eta_р = 1$);
$\eta_{пер}$ — к. п. д. передачи (от входного до выходного валов);

$\eta_м$ — к. п. д. механической передачи от выходного вала тяговой передачи к ведущим осям локомотива.

Касательная сила тяги локомотива по первичному двигателю из формулы (II-11):

$$F_к = \frac{270\beta N_{ед}\,\eta_р\,\eta_{пер}\,\eta_м}{v} \text{ кгс.}$$

Подставляя в это выражение

$$N_{ед} = \frac{M_{ед}\,n_д}{716,2} \text{ л. с.}$$

и

$$v = \frac{\pi D_к\,n_к \cdot 60}{1000} \text{ км/ч,}$$

получим

$$F_к = \frac{2\beta M_{ед}}{D_к}\,\mu'\,\eta_р\,\eta_{пер}\,\eta_м \text{ кгс.} \quad (II\text{-}13)$$

Здесь $M_{ед}$ — эффективный вращающий момент на валу первичного двигателя, кгс · м;

$D_к$ — диаметр ведущих колес локомотива, м;

$\mu' = \frac{n_д}{n_к}$ — передаточное число локомотива;

$n_д$ — частота вращения вала первичного двигателя, об/мин;

$n_к$ — частота вращения ведущих колес локомотива, об/мин.

Зависимость (II-13) наглядно показывает, что дизели при работе по внешней характеристике имеют $M_{ед} \approx \text{const}$, и поэтому при $\mu' = 1$ нельзя получить касательную силу тяги, изменяющуюся в широких пределах. Изменение максимальной касательной силы тяги в зависимости от скорости локомотива определяется величиной эффективного вращающего момента при номинальном режиме первичного двигателя и свойствами тяговой передачи (изменение μ' и $\eta_{пер}$ в функции скорости v).

Зависимости $F_к(v)$ при различных режимах работы первичного двигателя и передачи (тяговые характеристики) проверяют при испытаниях локомотивов.

Тяговые характеристики автономных локомотивов с электрической передачей могут быть построены на основании формулы (II-13) по известным характеристикам первичного двигателя и зависимостям величин β, μ' и $\eta_{пер}$ от скорости движения локомотива. Задаваясь различными значениями v при выбранном режиме работы двигателя, определяют значения β, μ' и $\eta_{пер}$ и по (II-13) подсчитывают $F_к$. Значения $F_к$ наносят на график $F_к(v)$ и соединяют полученные точки плавной кривой.

У тепловозов и дизель-поездов максимальное значение $F_к$ при данной величине v бывает при номинальном режиме дизеля ($N_{ед} = N_{е\,ном}$). Газотурбовозы с двух- или трехвальными ГТУ могут иметь максимальную силу тяги и при неноминальном режиме (см. рис. II-22). На газотурбовозах с двух-и трехвальными ГТУ, характеризующимися широким диапазоном изменения эффективного вращающего момента на валу свободной газовой турбины ($M_{е.т}$) по внешней характеристике, возможно применение более простых передач с малым диапазоном изменения μ' и даже так называемых «прозрачных» или «жестких» передач с $\mu' = \text{const}$.

При проектировании локомотивов с электрическими передачами расчет их тяговых характеристик ведут по характеристике главного генератора и электромеханическим характеристикам тягового двигателя.

Для обеспечения постоянства мощности внешняя характеристика генератора (рис. II-25) должна иметь вид гиперболы

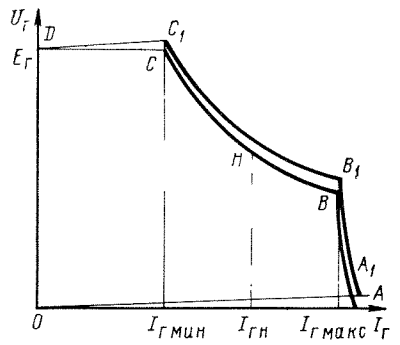


Рис. II-25. Характеристика главного генератора

($U_г I_г = \text{const}$), что достигается специальной системой возбуждения генератора, обеспечивающей изменение напряжения обратно пропорционально току. При больших скоростях и соответствующих им малых токах наступает ограничение по возбуждению генератора и падение его мощности. Для увеличения тока генератора и сохранения постоянства мощности дизеля в более широком интервале скоростей применяют различные схемы соединений тяговых двигателей или используют ослабление магнитного потока.

При электрических передачах сила тяги локомотива

$$F_к = \frac{2\beta M_{ед}}{D_к}\,\mu'\,\eta_р\,\eta_г\,\eta_{в.у}\,\eta_д\,\eta_м = 2m_э\frac{M}{D_к}\,\mu\eta_м \text{ кгс,}$$

где $\eta_р$ — к. п. д. редуктора между валом первичного двигателя и генератором;

$\eta_г$ — к. п. д. главного генератора;

$\eta_{в.у}$ — к. п. д. выпрямительной установки (для передач переменно-постоянного тока; для передач постоянного тока $\eta_{в.у} = 1$);

$\eta_д$ — к. п. д. тягового электродвигателя;

M — вращающий момент тягового электродвигателя, кгс·м;

$m_э$ — количество тяговых электродвигателей на тепловозе;

μ — передаточное число электродвигателя.

Для определения $F_к$ находят ток генератора, его к. п. д., к. п. д. выпрямителя (по его характеристике), ток и напряжение на выводах тяговых электродвигателей (в соответствии со схемой их соединения) и по электромеханическим характеристикам — вращающий момент M, частоту вращения $n_{эд}$, к. п. д. $\eta_д$. При данном режиме работы дизеля подсчитывают величину $F_к$ и скорость движения локомотива

$$v = 0,1884\,\frac{D_к\,n_{эд}}{\mu} \text{ км/ч.}$$

Соединяя найденные значения $F_к$ плавной кривой, получают тяговую характеристику $F_к(v)$ при данном режиме работы двигателя. На тяговых характеристиках также указывают режим регулирования возбуждения тяговых двигателей, ограничения силы тяги по длительному и пусковому токам. Желательно, чтобы ограничение по пусковому току было больше ограничения по сцеплению.

Тяговые характеристики локомотивов с гидропередачей. Требуемую тяговую характеристику и достаточно высокий к. п. д. получают при различных комбинациях гидроаппаратов (гидротрансформаторов, гидромуфт) и механической коробки передач. Применяют не более трех гидротрансформаторов и двух гидромуфт.

Гидротрансформаторы, имеющие насосное и турбинное колеса, а также направляющий аппарат, способны в зависимости от соотношения частоты вращения ведомого и ведущего валов $\frac{n_т}{n_н}$ плавно изменять величину вращающего момента. При этом к. п. д. гидротрансформатора достигает максимального значения только при одном значении отношения частот вращения ведомого и ведущего валов, которое определяется конструктивными параметрами. Максимальный к. п. д. гидротрансформаторов в зависимости от типа и мощности составляет 0,83—0,86.

Гидромуфты, имеющие в одном корпусе насосное и турбинное колеса (без направляющего аппарата), только передают вращающий момент, не трансформируя его. К. п. д. гидромуфты определяется разностью частот вращения насосного и турбинного колес. С уменьшением этой разности к. п. д. возрастает, достигая в номинальном режиме значений 0,92—0,95, что выше максимальных значений к. п. д. гидротрансформаторов.

Если в гидропередаче имеется два или три гидротрансформатора, то их характеристики подбираются таким образом, чтобы каждый из них работал в определенной зоне скоростей движения локомотива и имел достаточно высокий к. п. д. Так как гидромуфты не могут повышать вращающего момента первичного двигателя, то их используют лишь при средних и высоких скоростях движения локомотива. В процессе движения локомотива переключение первичного двигателя с одного гидроаппарата на другой производится автоматически в соответствии с достижением границ скорости для каждого из них. В момент переключения с одного гидроаппарата на другой происходит провал силы тяги, зависящий от длительности переключения.

На тепловозах с дизелями средней быстроходности для получения приемлемых размеров и характеристик гидроаппаратов между коленчатым валом дизеля и валом насосного колеса гидроаппарата ставят повышающий редуктор. Передача вращающего момента от вала турбинного колеса гидроаппарата к колесам локомотива про-

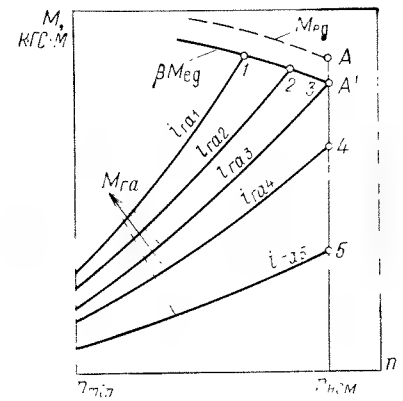


Рис. II-26. Совмещение характеристик дизеля с характеристиками нагружения гидроаппарата

изводится при помощи коробки передач, карданных валов и осевых редукторов.

Условием установившегося режима совместной работы первичного двигателя локомотива и гидропередачи является равенство момента на валу двигателя моменту, передаваемому насосным колесом гидроаппарата передачи (приведенному к валу двигателя):

$$\beta M_{ед} = M_{га} = \gamma\lambda_н D_a^5 n_н^2 \frac{1}{i_р \eta_з} = \gamma\lambda_н D_a^5 \frac{n^3}{i_р^3 \eta_з} \text{ кгс·м,}$$

где $\gamma\lambda_н$ — универсальный параметр гидроаппарата (энергоемкость);

D_a — активный диаметр колеса гидроаппарата;

$n_н$ — частота вращения насосного колеса гидроаппарата;

$i_р$ — передаточное отношение зубчатой передачи между валом двигателя и валом насосного колеса;

$\eta_з$ — к. п. д. зубчатой передачи.

Значение момента на валу первичного двигателя, реализуемого для тяги, определяют совмещением внешней (ограничительной) характеристики первичного двигателя с характеристиками нагружения гидроаппарата (рис. II-26).

Для этого строят зависимость $v\left(\frac{1}{i_{гa}}\right)$ скорости локомотива от передаточного отношения гидроаппаратов:

$$v = 0{,}1884\,\frac{D_к\,n_к}{i_р\,i_{гa}\,i_{кп}\,i_{ор}}\ \text{км/ч},$$

где $i_{гa} = \frac{n_н}{n_т}$ — передаточное отношение гидроаппарата;

$i_{кп}$ — передаточное отношение ступени коробки передач;

$i_{ор}$ — передаточное отношение осевого редуктора;

$n_т$ — частота вращения турбинного колеса.

Для каждого значения v определяют $\frac{1}{i_{гa}}$; по универсальной характеристике гидроаппарата (рис. II-27) находят его энергоемкость $\gamma\lambda$ и к. п. д. $\eta_{гa}$. Затем, используя зависимость $M_{гa}(n)$, подсчитывают величины $M_{гa}$ при различных частотах вращения вала первичного двигателя n и строят кривые $M_{гa}(n)$. Точки пересечения характеристик свободного вращающего момента первичного двигателя с линиями нагружения гидроаппарата $M_{гa}$ (*1*, *2*, *3*, *4*, *5* на рис. II-26) дают расчетные значения величин $\beta M_{ед}$ и соответствующие им значения скорости локомотива v, передаточного отношения гидроаппарата $i_{гa}$ и его к. п. д. $\eta_{гa}$. Построения и расчеты ведут для зоны рабочих скоростей каждого гидроаппарата, входящего в передачу.

Силу тяги локомотива определяют, подставив полученные значения $\beta M_{ед}$, $i_{гa}$ и $\eta_{гa}$ в формулу

$$F_к = \frac{2\beta M_{ед}}{D_к}\,i_р\,i_{гa}\,i_{кп}\,i_{ор}\,\eta_р\,\eta_{гa}\,\eta_{кп}\,\eta_{ор}\ \text{кгс},$$

где $\eta_{кп}$ — к. п. д. коробки передач;

$\eta_{ор}$ — к. п. д. осевого редуктора.

Соединяя плавной линией найденные значения $F_к$, получают тяговую характеристику тепловоза. На рис. II-28 представлена тяговая характеристика тепловоза

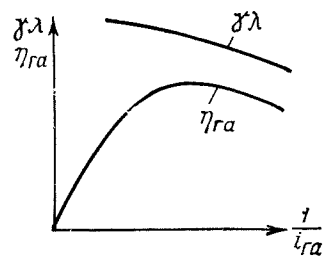


Рис. II-27. Универсальная характеристика гидроаппарата

ТГ102^к с унифицированной гидропередачей при 16-й позиции рукоятки контроллера.

Поскольку при малых скоростях движения локомотивов (3—5 км/ч) гидротрансформатор имеет низкий к. п. д., на маневровых тепловозах сила тяги может быть ограничена нагревом масла.

Тяговые характеристики тепловозов с механической передачей. Механические передачи осуществляют с помощью конических и цилиндрических зубчатых колес и муфт сцепления. Передаточное отношение изменяют переключением ступеней коробки скоростей. Число ступеней передачи зависит от рода службы тепловоза, характеристики дизеля, профиля пути и т. д. Чем больше ступеней имеет коробка скоростей, тем в большей степени тяговая характеристика тепловоза приближается к гиперболической. Считают, что максимальное число ступеней не должно превышать восьми.

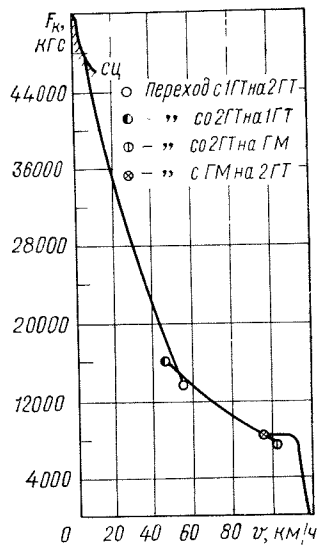


Рис. II-28. Тяговая характеристика тепловоза ТГ102^к с унифицированной гидропередачей на 16-й позиции рукоятки контроллера

Для обеспечения простоты переключения ступеней передачи интервалы скоростей определяют из условия

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_2}{v_3} = \frac{v_3}{v_4} = C = \text{const} = 0{,}45 \div 0{,}7.$$

В точках переключения скоростей *b*, *d*, *f*, *h*, лежащих на гиперболе *1* (рис. II-29), соответствующей постоянной номинальной мощности дизеля, сила тяги определяется уравнением

$$F_{кi} = \frac{2\beta M_{ед}^{ном}}{D_к}\,\mu_{мех}^{i}\,\eta_{мех}\ \text{кгс},$$

где $\mu_{мех}^{i}$ — передаточное отношение на i-й ступени коробки скоростей;

$\eta_{мех}$ — к. п. д. всей передачи (от вала дизеля к ведущим осям локомотива).

Сила тяги в промежуточных точках определяется по зависимости $F_{кi}(M_{ед})$ при соответствующих частотах вращения коленчатого вала n дизеля, меньших $n_{ном}$. Скорость движения тепловоза

$$v = 0{,}1884\,\frac{D_к\,n}{\mu_{мех}^{i}}\ \text{км/ч}.$$

Сила тяги на участках *ab*, *cd*, *ef* целиком определяется изменением вращающего момента дизеля по внешней характеристике. При переключении ступеней сила тяги тепловоза падает до нуля. Тяговая характеристика получается ступенчатой. Каждому интервалу скорости соответствует лишь одна точка (*b*, *d*, *f*, *h*, см. рис. II-29), при которой мощность дизеля равна номинальной. При всех других тяговых режимах мощность дизеля недоиспользуется. После переключения сила тяги скачком изменяется до нового значения при некоторой потере скорости тепловоза (точки *c*″, *e*″, *g*″). При этом на валу дизеля возникают большие динамические нагрузки и продольные усилия в поезде, которые могут привести к обрыву (особенно при реализации больших сил тяги). Это является одной из причин того, что механические передачи не получили распространения на магистральных тепловозах.

На рис. II-30 — II-33 приведены тяговые характеристики тепловозов наиболее распространенных серий.

Тяговые характеристики газотурбовозов. ГТУ по сравнению с дизелями имеют преимущества, позволяющие считать перспективным их применение в качестве самостоятельных силовых установок автономных локомотивов: возможность реализации больших эффективных мощностей в одном агрегате при малом весе на единицу мощности (мощность до 15 000 л. с., при удельном весе 0,6 — 1,0 кгс.э. л. с.), отсутствие

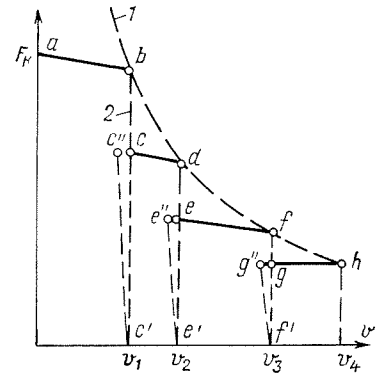


Рис. II-29. Тяговая характеристика тепловоза с механической передачей

частей, имеющих возвратно-поступательное движение, и кривошипно-шатунного механизма (простота конструкции, уравновешенность, меньшие износы и расходы на ремонт, в 7—10 раз меньший расход смазки), уменьшение относительных размеров и веса систем охлаждения, возможность применения простых тяговых передач (при многовальных ГТУ), использование более дешевого топлива, увеличение к. п. д.

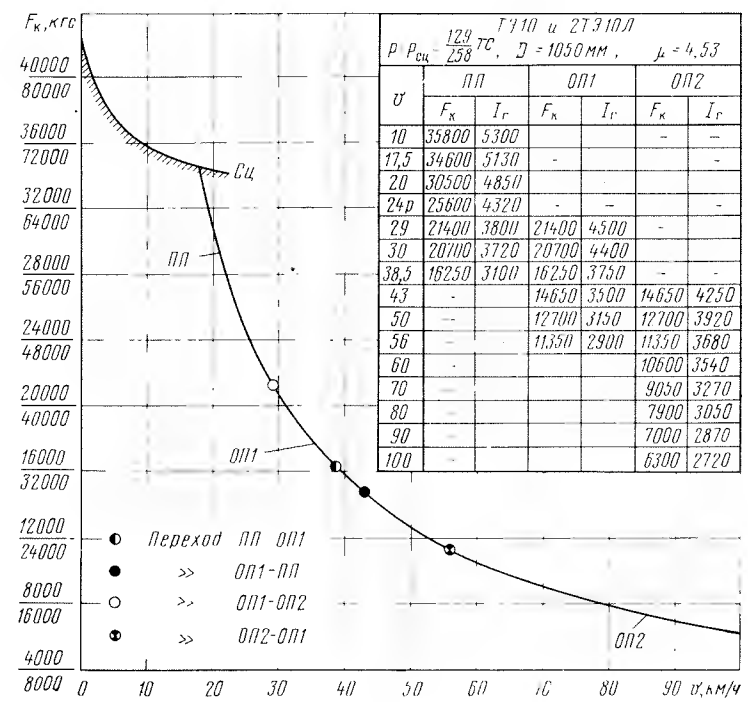
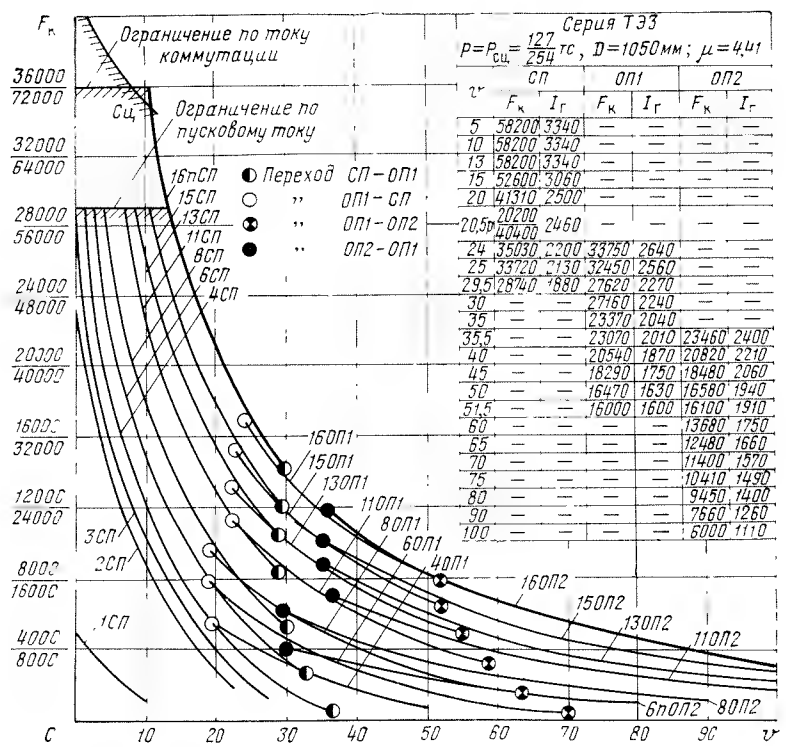
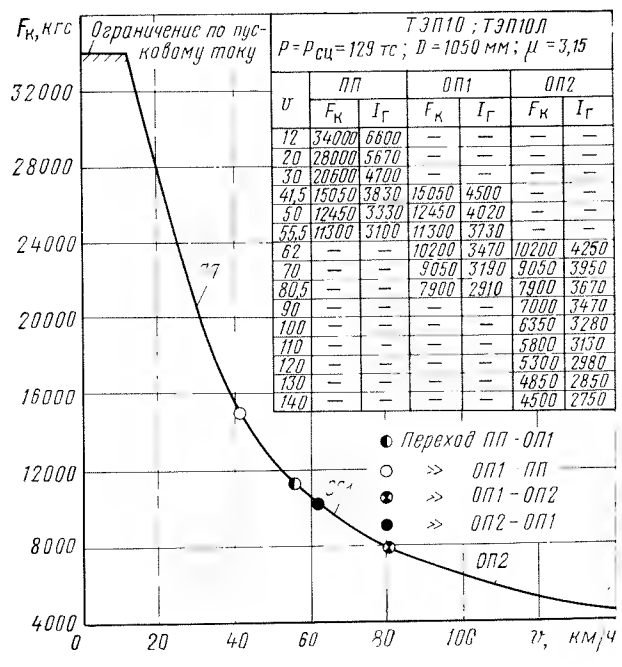


Рис. II-30. Тяговые характеристики тепловоза ТЭ10 (цифры в числителе) и 2ТЭ10Л (цифры в знаменателе) с тяговым двигателем ЭД-107 на 15-й позиции рукоятки контроллера



v	СП $F_к$	СП $I_г$	ОП1 $F_к$	ОП1 $I_г$	ОП2 $F_к$	ОП2 $I_г$
5	58200	3340	—	—	—	—
10	58200	3340	—	—	—	—
13	58200	3340	—	—	—	—
15	52600	3060	—	—	—	—
20	41310	2500	—	—	—	—
20,5	20200 / 40400	2460	—	—	—	—
24	35030	2200	33750	2640	—	—
25	33720	2130	32450	2560	—	—
29,5	28740	1880	27620	2270	—	—
30	—	—	27160	2240	—	—
35	—	—	23370	2040	—	—
35,5	—	—	23070	2010	23460	2400
40	—	—	20540	1870	20820	2210
45	—	—	18290	1750	18480	2060
50	—	—	16470	1630	16580	1940
51,5	—	—	16000	1600	16100	1910
60	—	—	—	—	13680	1750
65	—	—	—	—	12480	1660
70	—	—	—	—	11400	1570
75	—	—	—	—	10410	1490
80	—	—	—	—	9450	1400
90	—	—	—	—	7660	1260
100	—	—	—	—	6000	1110

Рис. II-31. Тяговые характеристики тепловоза ТЭ3 (значения в числителе — для одной секции, в знаменателе — для двух секций) на 16-й позиции рукоятки контроллера

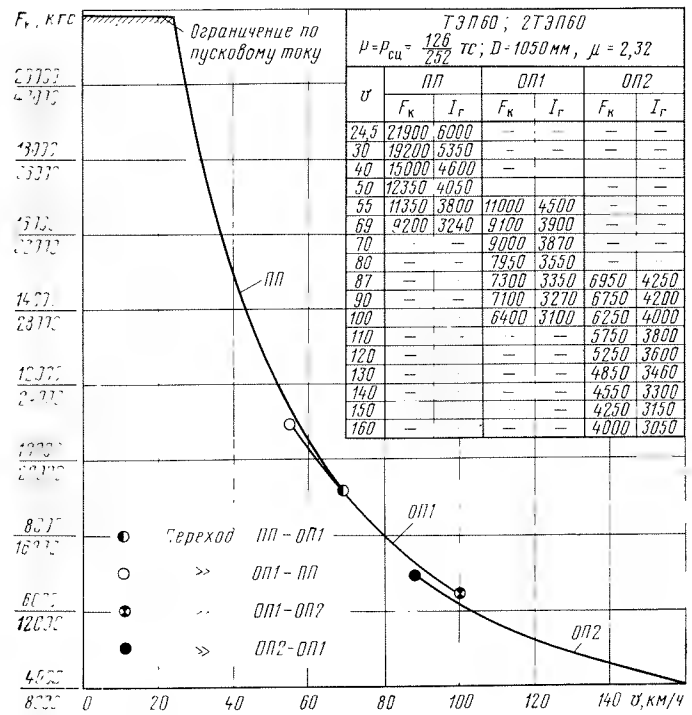


v	ПП $F_к$	ПП $I_г$	ОП1 $F_к$	ОП1 $I_г$	ОП2 $F_к$	ОП2 $I_г$
12	34000	6600	—	—	—	—
20	28000	5670	—	—	—	—
30	20600	4700	—	—	—	—
41,5	15050	3830	15050	4500	—	—
50	12450	3330	12450	4020	—	—
55,5	11300	3100	11300	3730	—	—
62	—	—	10200	3470	10200	4250
70	—	—	9050	3190	9050	3950
80,5	—	—	7900	2910	7900	3670
90	—	—	—	—	7000	3470
100	—	—	—	—	6350	3280
110	—	—	—	—	5800	3130
120	—	—	—	—	5300	2980
130	—	—	—	—	4850	2850
140	—	—	—	—	4500	2750

Рис. II-32. Тяговые характеристики тепловозов ТЭП10 и ТЭП10Л с тяговым двигателем ЭД-107 на 15-й позиции рукоятки контроллера

при повышении температуры газов на входе в турбину.

Опытные газотурбовозы (грузовой — Г1-01, пассажирские — ГП1-0001, ГП1-0002) имеют простейшие одновальные ГТУ. Пассажирские газотурбовозы построены на базе экипажной части, электрической передачи и кузова тепловоза ТЭП60. Мощность на валу турбины равна 3500 л. с. Тяговые характеристики пассажирских газотурбовозов тождественны характеристикам тепловоза ТЭП60.



v	ПП $F_к$	ПП $I_г$	ОП1 $F_к$	ОП1 $I_г$	ОП2 $F_к$	ОП2 $I_г$
24,5	21900	6000	—	—	—	—
30	19200	5350	—	—	—	—
40	15000	4600	—		—	—
50	12350	4050			—	—
55	11350	3800	11000	4500	—	—
69	9200	3240	9100	3900	—	—
70	—	—	9000	3870	—	—
80	—	—	7950	3550	—	
87	—		7300	3350	6950	4250
90	—	—	7100	3270	6750	4200
100			6400	3100	6250	4000
110	—	—		—	5750	3800
120	—		—	—	5250	3600
130	—		—	—	4850	3460
140	—		—	—	4550	3300
150				—	4250	3150
160	—		—	—	4000	3050

Рис. II-33. Тяговые характеристики тепловозов ТЭП60 (цифры в числителе) и 2ТЭП60 (цифры в знаменателе) с тяговым двигателем ЭД-108 на 15-й позиции рукоятки контроллера

II-3. ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

Принципы электрического торможения. При электрическом торможении тяговый двигатель переводится в генераторный режим и его момент реализуется в виде тормозной силы на ободе движущего колеса. В этом случае кинетическая энергия движущегося поезда превращается в процессе торможения в электрическую энергию, которая либо возвращается в контактную сеть, либо поглощается в реостатах, имеющихся на локомотиве. В первом случае осуществляется рекуперативное торможение, во втором — реостатное; используют также комбинированное торможение — рекуперативно-реостатное.

Преимуществами электрического торможения по сравнению с механическим являются возможность обеспечения устойчивости режима торможения; отсутствие нагрева бандажей и колодок; надежность процесса торможения; снижение эксплуатационных расходов из-за меньшего износа колодок, тормозной системы и бандажей. Кроме того, при рекуперативном торможении экономится электрическая энергия за счет возвращения ее в контактную сеть.

Основным недостатком электрического торможения является реализация режима торможения только движущими осями, что ограничивает максимальную возможную силу торможения. Электрическое торможение вызывает некоторое увеличение нагрева тяговых двигателей (они должны работать и в режиме тяги и в режиме торможения), а также некоторые усложнения устройств управления электроподвижным составом. На электровозах и моторных вагонах однофазно-постоянного тока устанавливают специальные тормозные реостаты. Несмотря на эти недостатки, преимущества электрического торможения обусловили его широкое применение на электроподвижном составе. Реостатное торможение широко используют на тепловозах, устанавливая специальные тормозные реостаты, а также вентиляторы для охлаждения. Рекуперативное торможение на тепловозах не применяется из-за отсутствия достаточно энергоемких аккумуляторов энергии небольших габаритных размеров и веса.

В газотурбовозах имеется возможность использования энергии, вырабатываемой

главным генератором, питающимся от тяговых двигателей в режиме электрического торможения, для компенсации механических и компрессионных потерь в газотурбинной установке. Однако этот вид торможения может дать эффект лишь в газотурбовозах с одновальными ГТУ, в которых мощность компрессоров может примерно вдвое превышать полезную мощность на выходном валу ГТУ.

На локомотивах может быть использовано соленоидное торможение, представляющее разновидность электромеханического торможения, и рельсовые электромагнитные тормоза, тормозная сила в которых образуется вследствие трения специально предусмотренных для этой цели стальных башмаков о рельсы. Поскольку для намагничивания каждого башмака требуется значительная мощность (примерно 50 кВт), то эти системы торможения могут быть эффективно применены при условии параллельного соединения обмоток тормозных башмаков с тормозными реостатами.

Такая система торможения не оказывает влияния на сцепление колес с рельсами и обеспечивает высокие тормозные силы.

Характеристики реостатного торможения. Для перевода в режим реостатного торможения тяговые двигатели электроподвижного состава отключают от контактной сети (на тепловозах — от главного генератора) и включают на нагрузочный (тормозной) реостат. Во избежание размагничивания тяговых двигателей последовательного возбуждения, переводимых в генераторный режим, реверсируют их обмотки возбуждения, сохраняя то же направление магнитного потока, что и в тяговом режиме.

При установившемся режиме реостатного торможения

$$I=\frac{cv\Phi}{r+\frac{n_{\text{п}}}{n_{\text{посл}}}r_{\text{т}}} \quad \text{или} \quad v=\frac{I\left(r+\frac{n_{\text{п}}}{n_{\text{посл}}}r_{\text{т}}\right)}{c\Phi}, \qquad (\text{II-14})$$

где $n_{\text{п}}$ и $n_{\text{посл}}$ — соответственно число параллельно и последовательно соединенных двигателей;
$r_{\text{т}}$ — тормозное сопротивление на один двигатель;
r — сопротивление цепи тягового двигателя.

Характеристики $v(I)$ и $B(I)$ реостатного торможения зависят от системы возбуждения тяговых машин в этом режиме (самовозбуждение с дополнительным питанием обмоток возбуждения от независимого источника и полностью независимое возбуждение). Могут быть применены двигатели со встречно-смешанным или согласно-смешанным возбуждением.

Тормозной момент двигателя при электрическом торможении имеет ту же электромагнитную природу, что и вращающий момент двигателя в режиме тяги. Электромагнитная сила при торможении равна $0{,}367\ c\Phi I$ и направлена в сторону, противоположную движению колеса.

Разница в абсолютных значениях силы тяги и силы торможения двигателя обусловлена лишь различным влиянием магнитных и механических потерь $\Delta P_{\text{с}}+\Delta P_{\text{м}}+\Delta P_{\text{з}}$ в двигателе и передаче. В режиме тяги эти потери снижают силу тяги на величину

$$\Delta F=\frac{0{,}367\,(\Delta P_{\text{с}}+\Delta P_{\text{м}}+\Delta P_{\text{з}})}{v}.$$

В генераторном режиме они увеличивают тормозную силу на величину $\Delta B=\Delta F$ и способствуют торможению поезда. Поэтому тормозная сила двигателя при любой системе электрического торможения определяется как

$$B_{\text{д}}=0{,}367\ c\Phi I+\Delta B \ \text{кгс}.$$

При n двигателях $B=n\,(0{,}367\ c\Phi I+\Delta B)$ кгс. (II-15)

При самовозбуждении тяговых двигателей и нагрузке I их тормозная сила

$$B=n_{\text{посл}}\,n_{\text{п}}\left[\frac{0{,}367\,(U-Ir)\,I}{v_{\text{д}}}+\Delta B\right], \qquad (\text{II-16})$$

где $v_{\text{д}}$ — скорость в тяговом режиме, соответствующая напряжению U на двигателе и той же нагрузке I.

Однако для получения эффективного тормозного режима при самовозбуждении требуется относительно большое время, так как в начальный период торможения э. д. с. остаточного магнетизма весьма невелика. Для ускорения начала торможения создают дополнительную намагничивающую силу путем подпитки от независимого источника напряжения либо основной обмотки возбуждения, либо специальной обмотки с небольшим количеством витков.

Если ток подпитки достаточно велик, то $\Phi\approx\text{const}$, и в соответствии с формулой (II-14) скорость v, а значит и тормозная сила B пропорциональны току якоря. При малом токе подпитки машина ненасыщена, магнитный поток примерно пропорционален току и отношение I/Φ считают постоянным. В таком случае скорость не изменяется при изменении нагрузки, а следовательно, и при изменении тормозной силы, т. е. будет жесткая характеристика тормозного режима.

Характеристики реостатного торможения с независимым возбуждением строят для каждой ступени его регулирования при заданной величине тормозного сопротивления по формулам (II-14) и II-16).

Для реостатного торможения с противовозбуждением и стабилизирующими резисторами $r_{\text{с}}$ ток возбуждения

$$I_{\text{в}}=\frac{e_{\text{в}}-Ir_{\text{с}}}{r_{\text{с}}+r_{\text{в}}+r_0}, \qquad (\text{II-17})$$

где $e_{\text{в}}$ — э. д. с. возбудителя;
r_0 — внутреннее сопротивление возбудителя;
$r_{\text{в}}$ — сопротивление обмотки возбуждения тягового двигателя.

Коэффициент противовозбуждения, характеризующий изменение н. с. двигателя при изменении его нагрузки,

$$\beta_{\text{п}}=-w_{\text{в}}\frac{dI_{\text{в}}}{dI}=w_{\text{в}}\frac{r_{\text{с}}}{r_{\text{с}}+r_{\text{в}}+r_0},$$

где $w_{\text{в}}$ — число витков обмотки возбуждения двигателя.

Ток возбуждения обратно пропорционален току якоря: чем больше сопротивление стабилизирующего резистора, тем резче снижается ток возбуждения при увеличении тока якоря. Реальные характеристики несколько нелинейны из-за действия реакции якоря возбудителя.

При реостатном торможении, кроме ограничений по максимально допустимому току двигателя $I_{\max}$ (соответствующему максимальной тормозной силе $B_{\max}$), по сцеплению колес локомотива с рельсами ($B_{\text{сц}}=1000\ P\psi_{\text{к}}$) (см. табл. II-4) и по конструктивной скорости $v_{\text{констр}}$, имеется еще ограничение по максимально допустимому напряжению $U_{\max}$ тягового двигателя (э. д. с. двигателя может быть весьма велика при высоких скоростях движения, когда магнитный поток машины мал).

Соотношение между скоростью в тормозном v и тяговом режимах $v_{\text{д}}$ при нагрузке I определяют по формуле

$$v=v_{\text{д}}\frac{I\left(r+\frac{n_{\text{п}}}{n_{\text{посл}}}r_{\text{т}}\right)}{U-Ir}.$$

В схеме реостатного торможения, имеющей встречное включение обмоток возбуждения возбудителя и обмотки, по которой протекает ток цепи двигателей, намагничивающая сила возбудителя

$$F_{\text{в}}=w_{\text{п}}I_{\text{п}}-w_{\text{к}}I=\frac{U_{\text{н}}}{r_{\text{н}}}w_{\text{н}}-w_{\text{к}}I, \qquad (\text{II-18})$$

где $w_{\text{п}}$ и $w_{\text{к}}$ — число витков независимой и встречной обмоток возбуждения возбудителя;
$U_{\text{н}}$ и $I_{\text{н}}$ — напряжение источника питания и ток независимой обмотки возбуждения.

Э. д. с. возбудителя определяется его нагрузочной характеристикой $c'\Phi\,(I_{\text{в}})$. При этом

$$c'\Phi=\frac{e_{\text{в}}}{n_{\text{в}}},$$

где $n_{\text{в}}$ — частота вращения возбудителя.

Зная $e_{\text{в}}$, находят ток возбуждения двигателя

$$I_{\text{в}}=\frac{e_{\text{в}}}{r_{\text{в}}}$$

и коэффициент противовозбуждения

$$\beta_{\text{п}}=-\frac{dF_{\text{в}}}{dI}=-\frac{d\,(w_{\text{в}}I_{\text{в}})}{dI}.$$

При построении тормозных характеристик принимают несколько значений I, для которых по уравнению (II-18) находят зависимости $I_{\text{в}}(I)$, а затем на основании кривой $c\Phi\,(I_{\text{в}})$ и зависимости $cv\Phi=(r_{\text{я}}+r_{\text{т}}+r_{\text{с}})\,I+I_{\text{в}}r_{\text{с}}$ находят E и $v=E/c\Phi$.

Пользуясь зависимостями $I_{\text{в}}(I)$, определяют $I_{\text{в}}$, а по нагрузочным характеристикам двигателя $c\Phi(I)$ — значения $c\Phi=\frac{E}{v}$. Затем находят E, v и рассчитывают $B_{\text{к}}(I)$.

При данном токе I наибольшая допускаемая скорость $v_{\max}$ не должна превышать значения

$$v_{\max}=v_{\text{д}}\frac{U_{\max}-Ir}{U-Ir},$$

где $v_{\text{д}}$ — скорость тягового режима при напряжении U и токе I.

Поскольку обычно падение напряжения Ir в двигателе невелико по сравнению с U, а тем более с $U_{\max}$, то приближенно считают, что при одинаковых токах максимальная скорость реостатного торможения во столько раз больше скорости тягового режима, во сколько раз максимально допустимое напряжение $U_{\max}$ больше номинального.

Так как частота вращения двигателей последовательного возбуждения при максимальных нагрузках примерно в 2 раза меньше наибольшей, то при реостатном торможении допускают напряжение в 2 раза выше, чем при тяговом режиме (если оно не превышает допустимого напряжения на коллекторе по условиям коммутации двигателя). При двигателях, имеющих на коллекторе 1500 В, значительно труднее обеспечить нормальную работу в генераторном режиме при повышении напряжения. В таких случаях при больших частотах вращения применяют ослабление поля. Интенсивность торможения при таких двигателях ограничена на высоких частотах вращения допустимым напряжением, на низких — допустимым током двигателя.

Общим недостатком, присущим системам реостатного торможения со специальным возбудителем, является необходимость установки дополнительного оборудования.

На электроподвижном составе однофазного тока для осуществления реостатного торможения устанавливают тормозные реостаты и дополнительную аппаратуру для управления процессом торможения. Наименьшее количество оборудования получается при осуществлении реостатного торможения с независимым возбуждением тяговых машин и индивидуальным для каждого якоря нерегулируемым тормозным реостатом при интенсивной вентиляции.

На электровозе ВЛ80^{т} в режиме реостатного торможения питание обмоток возбуждения осуществляется от специальной выпрямительной установки с тиристорным регулированием, подключаемой к секции обмотки тягового трансформатора электро-

воза. На рис. II-34 приведены тормозные характеристики электровоза ВЛ80^{т}.

В режиме реостатного торможения допускается применение пневматического подтормаживания состава (не электровоза) при помощи крана машиниста. Совместное действие электрического и пневматического торможения на электровозе не допускается во избежание возможного образования юза и заклинивания колесных пар.

Характеристики рекуперативного торможения электроподвижного состава постоянного тока. Для осуществления рекуперации необходимо, чтобы суммарная

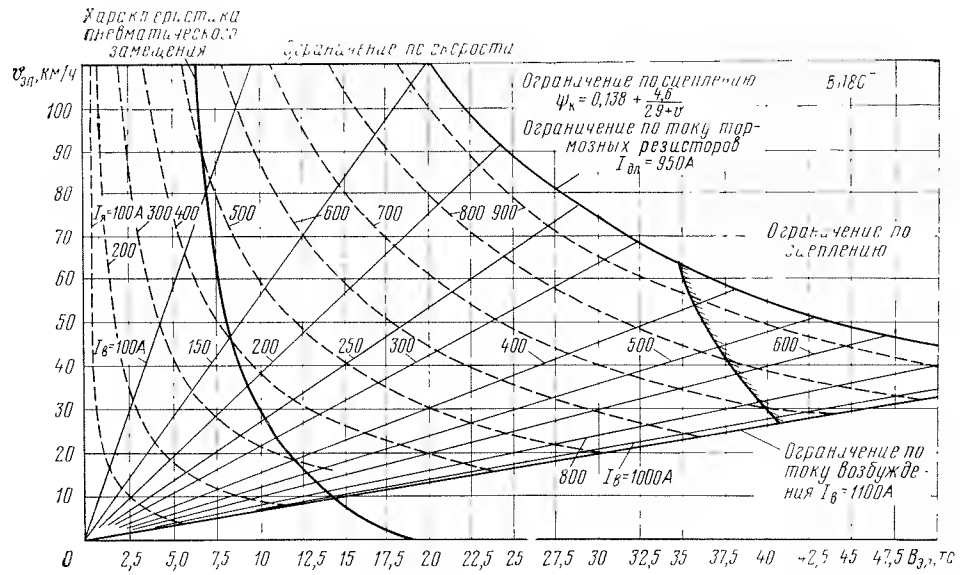


Рис. II-34. Тормозные характеристики электровоза ВЛ80^{т}

э. д. с., развиваемая последовательно соединенными генерирующими машинами, была бы больше напряжения контактной сети.

Скорость движения поезда при рекуперации

$$v = \frac{U_{кс} + \Sigma Ir}{n_{посл}\, c\Phi},$$

где $U_{кс}$ — напряжение в контактной сети;
$n_{посл}$ — число последовательно соединенных двигателей;
ΣIr — суммарное падение напряжения в силовой цепи.

Ток одного двигателя

$$I = \frac{cv\Phi - U}{r},$$

где

$$U = \frac{U_{кс}}{n_{посл}}.$$

Тормозная сила рекуперативного торможения определяется той же формулой (II-16), что и тормозная сила реостатного торможения. Порядок построения характеристик $v(I)$ и $B(I)$ сохраняется тот же, что и при реостатном торможении.

К. п. д. при рекуперации представляет собой отношение отданного в сеть количества электрической энергии к механической работе при торможении или отношение мощностей:

$$\eta_{рек} = \frac{0{,}367\,(UI - \Delta P_п)}{B_д v},$$

где $\Delta P_п$ — мощность, Вт, цепей параллельного и независимого возбуждения.

На электроподвижном составе из возможных четырех систем возбуждения тяговых машин в режиме рекуперации (последовательное, согласно-смешанное, параллельное или независимое и встречно-смешанное) практически используют только две: независимое и встречно-смешанное возбуждение. Генераторы последовательного и согласно-смешанного возбуждения для рекуперации непригодны, так как не обеспечивают электрически устойчивого режима при работе на контактную сеть. Генераторы независимого и особенно встречно-смешанного возбуждения устойчиво работают на сеть постоянного напряжения, поскольку они обладают внешними характеристиками, при которых увеличение нагрузки вызывает уменьшение магнитного потока. На электроподвижном составе применяют специальные возбудители, имеющие для уменьшения мощности две обмотки: независимого возбуждения и противовозбуждения.

Внешние характеристики генераторов с параллельным (независимым) возбуждением являются жесткими, что вызывает увеличение неравномерности распределения нагрузок между параллельно работающими генераторами. Кроме того, машины с жесткими характеристиками более чувствительны к колебаниям напряжения в сети. По этим причинам схемы рекуперации с независимым (и параллельным) возбуждением распространения не получили. От указанных недостатков свободны схемы со встречно-смешанным возбуждением, для которых справедливо уравнение электрического равновесия в цепи якоря $E = U_{кс} + (r_а + r_с)\ I + r_с I_в$ и уравнение (II-17) — для цепи возбуждения.

При малых токах якоря, когда намагничивающая сила велика и магнитная система генерирующей машины насыщена, поток меняется незначительно. При больших же нагрузках, когда машина сильно размагничена, поток быстро убывает с ростом нагрузки.

Кривая тормозного момента (тормозной силы) имеет максимум, определяющий предел механической устойчивости режима рекуперации: $\frac{\partial M}{\partial I} = 0$.

Скорость в режиме рекуперации регулируют теми же способами, что и в тяговом режиме: последовательно-параллельным переключением генерирующих машин, изменением магнитного потока и введением резисторов в силовую цепь.

При последовательно-параллельном соединении якорей тяговых двигателей

$$I_в = \frac{e_в - r'_с I}{n_{посл.в}\, r_в + \frac{m_в}{m_а} r'_с + m_в r'_0}$$

и уравнение электрического равновесия в цепи якорей

$$n_{посл.я} E = U_{кс} + (n_{посл.я}\, r_а + r'_с) I + \frac{m_в}{m_а} r'_с I_в.$$

Коэффициент противовозбуждения

$$\beta_п = \frac{w_в r'_с}{n_{посл.в}\, r_в + \frac{m_в}{m_а} r'_с + m_в r'_0},$$

где $n_{посл.я}$ и $n_{посл.в}$ — число последовательно соединенных якорей и обмоток возбуждения соответственно;
$m_а$ и $m_в$ — число параллельных цепей якорей и обмоток возбуждения, присоединенных к одному возбудителю;
$r'_с$ — сопротивление стабилизирующего резистора, отнесенное к одной последовательной цепи якорей;
r'_0 — сопротивление обмоток якоря и добавочных полюсов возбудителя.

Эквивалентное сопротивление цепи рекуперации

$$R_э = -\frac{dU_{кс}}{dI} = \frac{\frac{m_в}{m_а} r'_с n_{посл.я}\left(v\alpha_д w_в + r_в + \frac{n_{посл.в}}{n_{посл.я}} r'_0 + r_а\right)}{n_{посл.в}\, r_в + \frac{m_в}{m_а} r'_с + m_а r'_0},$$

где $\alpha_д = \frac{d(c\Phi)}{dF}$.

Значения $\beta_п$ и $R_э$, зависящие от $r'_с$, определяют жесткость характеристик рекуперативного торможения и тем самым распределение нагрузок между параллельными цепями. С ростом $r'_с$, $\beta_п$ и $R_э$ расхождение токов параллельных ветвей рекуперирующих машин уменьшается.

Основным способом регулирования скорости в режиме рекуперации является изменение магнитного потока, легко осуществимое вследствие наличия специального возбудителя.

На рис. II-35 приведены характеристики рекуперативного торможения электровоза ВЛ8.

Если электрическое торможение необходимо до полной остановки поезда, то используют на высоких скоростях рекуперативное торможение, на малых — реостатное, т. е. осуществляют рекуперативно-реостатное торможение, оборудуя для этого электроподвижной состав специальной аппаратурой.

При этом реостатное торможение может быть резервным в случае отказа режима рекуперации или отсутствия потребителей энергии на линии.

Характеристика рекуперативного торможения электроподвижного состава однофазно-постоянного тока. Осуществление рекуперации на электроподвижном составе однофазного тока со статическими преобразователями осложняется необходимостью инвертирования тока, вырабатываемого двигателями в генераторном режиме. С этой целью используют управляемые вентили, позволяющие искусственно задерживать на заданный угол момент начала коммутации. Управление осуществляется подачей отрицательного импульса на управляющий электрод вентиля для его запирания и небольшого тока в прямом направлении — для его отпирания.

Среднее значение э. д. с. на стороне постоянного тока

$$E_d = \frac{E_2\sqrt{2}}{\pi}\left[\cos\beta + \cos(\beta + \gamma)\right],$$

где E_2 — эффективное значение э. д. с. обмотки трансформатора;
β — угол зажигания вентилей;
γ — угол коммутации.

Так как э. д. с. холостого хода выпрямителя

$$E_{d0} = \frac{2E_2\sqrt{2}}{\pi},$$

то

$$E_d = E_{d0}\cos\beta - \frac{2}{\pi} X I_d,$$

где X — реактанц трансформатора и первичной сети;
I_d — выпрямленный ток.

При $\beta = \frac{\pi - \gamma}{2}$ э. д. с. на выходе выпрямителя равна нулю, при $\beta > \frac{\pi - \gamma}{2}$ энергия поступает в контактную сеть из цепи постоянного тока, т. е. осуществляется

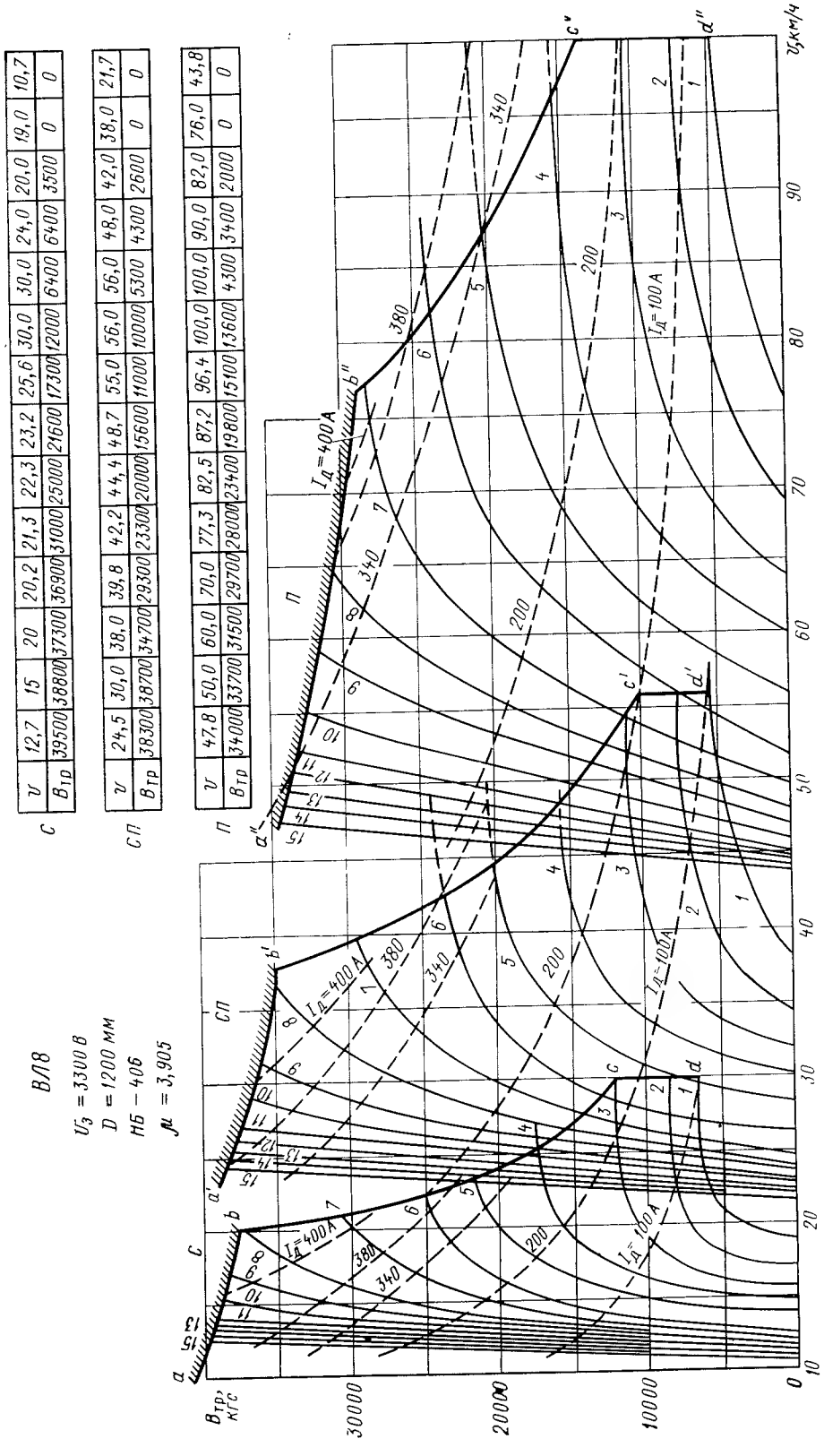


Рис. II-35. Тормозные характеристики электровоза ВЛ8 при рекуперативном торможении:
ab, a'b', a''b'' — ограничение по сцеплению; bc, b'c', b''c'' — ограничение по току $I_д/I_в$=2,8; cd, c'd', c''d'' — ограничения по номинальной скорости

рекуперативный режим двигателей и инверторный режим вентилей. Поскольку при этом режиме постоянная составляющая э. д. с. и ток меняют свое направление на обратное, необходимо изменить полярность вентилей, чтобы сохранить в них прежнее направление тока.

Зависимость напряжения на тяговых двигателях U_d от тока I_d при инвертировании

$$U_d = U_{d0}\cos\delta - \lambda\frac{2}{\pi}X I_d + I_d R + \Delta U_р + \Delta U_в,$$

где $\cos\delta$ — угол запаса;

λ — коэффициент, учитывающий степень сглаживания выпрямленного тока I_d;

R — приведенное активное сопротивление цепи I_d;

$\Delta U_р$ — падение напряжения в сглаживающем реакторе;

$\Delta U_в$ — падение напряжения в вентилях.

Характеристики рекуперативного торможения электровозов и моторных вагонов с полупроводниковыми преобразователями рассчитывают по тем же формулам, что и при постоянном токе — по формулам (II-15) — (II-17). Однако вместо напряжения контактной сети следует подставлять значение U_d при постоянном угле δ.

Для сохранения высокого значения коэффициента мощности стремятся осуществлять режим при наибольшем угле β, соответствующем минимально допустимому значению угла δ.

На электроподвижном составе однофазного тока наряду со схемами, используемыми при постоянном токе, применяют питание обмоток возбуждения двигателей через выпрямительные мосты или реже через магнитные усилители.

Регулирование тока возбуждения тяговых двигателей, угла зажигания вентилей и напряжения трансформатора позволяет получить желаемую характеристику режима рекуперации. Однако осуществление режима рекуперации происходит при низком коэффициенте мощности и сопровождается искажением формы кривой тока, отдаваемого в контактную сеть.

Реверсивное торможение. Если у тягового двигателя при прежнем направлении вращения якоря изменить направление э. д. с., например, изменив направление тока в обмотке возбуждения, и через реостат подключить двигатель к сети, то образуется режим своеобразного реостатного торможения, при котором э. д. с. складывается с напряжением сети.

Зависимость скорости движения электроподвижного состава от тока двигателя имеет при этом вид:

$$v = \frac{I(r+r_т) - U}{c\Phi} \quad \text{или} \quad I = \frac{U + cv\Phi}{r + r_т}.$$

Без специальной дугогасящей аппаратуры реверсивное торможение можно безопасно использовать при очень малых скоростях движения, когда э. д. с. двигателя, суммирующаяся с напряжением контактной сети, еще невелика. При повышении же скорости э. д. с. растет и могут возникнуть токи, не допускаемые по условиям коммутации двигателей или сцепления колес локомотива с рельсами.

Соленоидное торможение. При этом виде торможения нажатие на фрикционные поверхности осуществляется электромагнитными силами, возникающими в процессе втягивания сердечника в специальный электромагнит при пропускании по нему тока. Тормозная сила зависит от коэффициента трения φ между фрикционными поверхностями, являющегося функцией скорости, от силы нажатия $K_с$, определяемой током соленоида, и от зависимости тока соленоида от скорости движения поезда.

В общем виде тормозная сила соленоидного тормоза

$$B_с = 1000\Sigma K_с \varphi.$$

Намагничивающая сила соленоида, от которой зависит величина $K_с$, определяется системой возбуждения соленоидов (независимой, последовательной и смешанной).

Рельсовые электромагнитные тормоза. Тормозные силы, развиваемые этими тормозами, не ограничены сцеплением колес с рельсами, они определяются трением специальных стальных электромагнитных башмаков, прижимаемых к рельсам при возбуждении их катушек электрическим током. Через направляющие башмаков тормозная сила передается подвижному составу. Величина тормозной силы башмака

$$B = 1000\Sigma K\varphi,$$

где K — сила прижатия башмака к рельсу;

φ — коэффициент трения между башмаком и рельсом.

В современных конструкциях этих тормозов сила прижатия башмака к рельсу достигает 5000 кгс и более на 1 пог. м длины башмака.

II-4. ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

Спрямление профиля пути. В основе расчета кривых движения поезда лежит интегрирование уравнения движения (II-1) или (II-2).

Предварительно с целью уменьшения трудоемкости таких расчетов заменяют группу смежных элементов продольного профиля пути, а также кривые, имеющиеся в плане, фиктивными эквивалентными уклонами исходя из равенства работ по преодолению действительного профиля и приведенного фиктивного.

Уклон спрямленного участка

$$i'_с = \frac{\Sigma(iS)}{\Sigma S},$$

где i и S — соответственно уклон, ‰, и длина, м, каждого элемента профиля, входящего в спрямляемый участок.

При конечной $H_к$ и начальной $H_н$ отметках спрямляемого участка

$$i'_с = \frac{(H_к - H_н)\,1000}{\Sigma S}.$$

Спрямляются только близкие по крутизне элементы профиля одного знака. Элементы профиля остановочных пунктов не спрямляют. Возможность спрямления элементов проверяют по эмпирической формуле

$$S_i < \frac{4000}{\Delta i},$$

где Δi — абсолютная разность между фиктивным уклоном спрямляемого участка длиной S_i и действительным уклоном проверяемого элемента, $^0/_{00}$.

При более жестких условиях возможность спрямления элементов проверяют по формуле

$$S_i < \frac{2000}{\Delta i}.$$

Кривые на спрямляемом участке заменяют фиктивными подъемами, крутизну которых для существующих дорог рассчитывают по формуле

$$i''_c = \frac{700}{S_c} \sum_1^n \frac{S_{кр i}}{R_i}$$

или

$$i''_c = \frac{12,2}{S_c} \sum_1^n \alpha_i^\circ,$$

где R_i — радиус кривой, м;
$S_{кр i}$ — длина i-й кривой, м;
α_i — центральный угол i-й кривой;
n — число кривых на спрямляемом участке длиной S.

Для проектируемых дорог и специальных расчетов

$$i''_c = \frac{\sum_1^n \left(\frac{200}{R_i} + 1,5\tau_i\right) S_{кр i}}{S_c}$$

или

$$i''_c = \frac{\sum_1^n (200 + 1,5\tau_i R_i)\, \alpha_i^\circ}{57,3 S_c},$$

где $\tau = \frac{v^2}{13 R_i} - \frac{h}{S_{кт}} g$ — абсолютная величина непогашенного ускорения в i-й кривой, м/с² (здесь h — возвышение наружного рельса, мм; $S_{кт} = 1600$ мм — расстояние между кругами катания колес подвижного состава нормальной колеи; $g = 9,8$ м/с² — ускорение силы тяжести).

Результирующий уклон спрямляемого участка при наличии на нем уклонов и кривых $i_c = i'_c + i''_c$.

Методы интегрирования уравнения движения. Существуют аналитические и графические методы расчета кривых движения.

Аналитические методы основаны на интегрировании уравнения движения поезда при принятых зависимостях удельных ускоряющих и замедляющих сил от скорости движения. Установление аналитических зависимостей представляет собой трудоемкую задачу, связанную с аппроксимацией большого числа кусочно-непрерывных функций, каждая из которых соответствует определенным условиям движения поезда. Поэтому аналитические методы интегрирования уравнения движения применяются в специальных целях, например, уточнения времени хода на данном элементе, определения ускорений и т. п.

Графические методы интегрирования, широко применяемые при тяговых расчетах, основаны на методе конечных приращений, при котором расчет ведут последовательно на каждом интервале изменения скорости и соответствующих ему удельных ускоряющих и замедляющих сил.

Промежуточное положение между этими методами расчета занимает расчетно-графический способ, при котором по имеющимся диаграммам удельных ускоряющих f_y и замедляющих $b_з$ сил определяют средние на каждом интервале скорости и строят кривые движения по приращениям пути и времени хода.

Наибольшее распространение среди графических методов интегрирования уравнения движения поезда получил метод, вна-

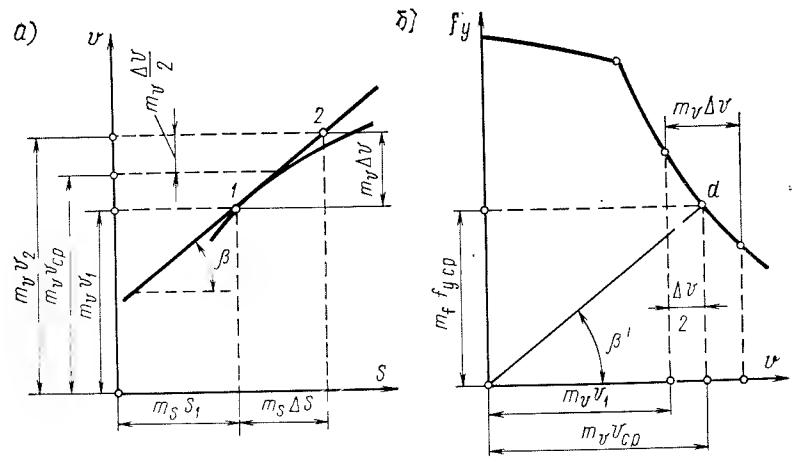


Рис. II-36. Определение точки кривой $v(S)$ по значению удельной ускоряющей силы $f_{уср}$

Таблица II-5

Рекомендуемые величины масштабов для построения кривых движения

Параметры	Обозначение масштаба и размерность	Величина масштаба		
		для грузовых и пассажирских поездов	для электропоездов	для тормозных и специальных расчетов
Сила	m_f, мм/кгс/тс	12; 6; 10	2; 3	2; 1
Скорость	m_v, мм/км/ч	2; 1; 2	1; 1,5	2; 1
Путь	m_S, мм/км	40; 20; 48	60; 90	240; 120
Постоянная	Δ, мм	30; 30; 25	50; 50	—; —
Время	m_i, мм/ч	600; 600; 600	—; —	—; —
Время	m_t, мм/мин	10; 10; 10	50; 50	—; —

чале разработанный А. И. Липецом, развитый Г. В. Лебедевым и рекомендованный к использованию МПС. При этом методе все построения осуществляют геометрическим путем, что придает ему особую наглядность, важную в практике.

Построение начинают с расчета кривой скорости по пути $v(S)$, на основании которой затем строят кривую времени по пути $t(S)$ [реже $v(t)$].

Проводя на диаграмме $v(S)$ (рис. II-36, *а*) в пределах Δv прямую под некоторым углом β, находят пройденный путь ΔS, соответствующий приращению скорости Δv, как горизонтальную проекцию кривой $v(S)$ в координатах v, S. Из рис. II-36, *а*

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{m_v\, dv}{m_S\, dS} \simeq \frac{m_v}{m_S} \cdot \frac{\Delta v}{\Delta S}.$$

Из кривой $f_y(v)$ (рис. II-36, *б*) при масштабах сил m_f, мм/кгс/тс, и скорости m_v, мм/км/ч,

$$\operatorname{tg}\beta' = \frac{m_f}{m_v} \cdot \frac{f_{y\,ср}}{v_{ср}}.$$

Приравнивая значения тангенсов углов β и β', получают соотношение масштабов рассматриваемых диаграмм:

$$m_S = \frac{\xi' m_v^2}{m_f}.$$

Из трех масштабов произвольно выбирают два, ориентируясь на рекомендуемые (табл. II-5), третий определяют из последнего выражения.

Выбрав масштабы, вычертив кривые удельных ускоряющих и замедляющих сил, а также профиль пути, приступают к построению кривой $v(S)$.

Из начальной точки движения (рис. II-37) проводят луч *01* под углом β_1 к оси S в пределах принятого интервала изменения скорости Δv_1. Затем из точки *1* окончания первого луча проводят новый *1—2* под углом β_2 в пределах второго интервала Δv_2 и т. д.

При нахождении начальной для данного интервала Δv точки построения кривой $v(S)$ не на площадке ($i = 0$), а, например, на подъеме крутизны i_2 $^0/_{00}$ удельную ускоряющую силу уменьшают на эту величину i_2; если начальная точка расположена на спуске i_3 $^0/_{00}$, то к удельным ускоряющим силам добавляют величину i_3. Это правило справедливо для любого ин-

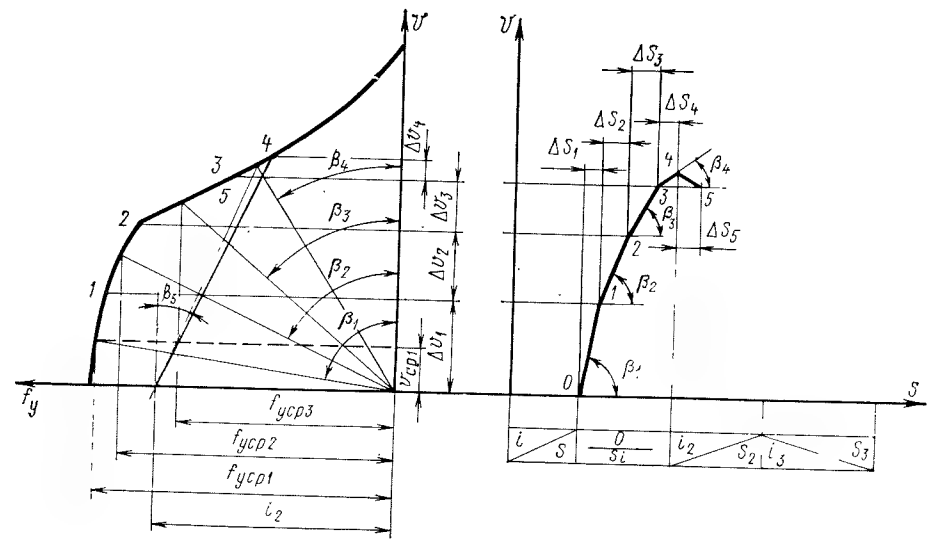


Рис. II-37. Построение кривой $v(S)$

тервала Δv и любого элемента профиля. Соединяя последовательно концы лучей в пределах каждого интервала скорости, получают кривую изменения скорости по пути.

Кривую времени хода $t(S)$ строят на основе кривой скорости $v(S)$: достаточно

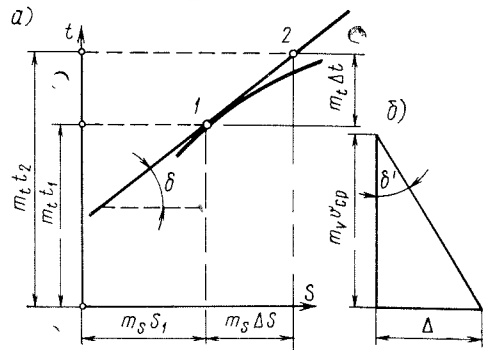


Рис. II-38. Построение кривой $t(S)$

малому интервалу пройденного пути ΔS соответствует приращение времени хода Δt.

Из рис. II-38, *а*

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{m_t}{m_S}\cdot\frac{\Delta t}{\Delta S} = \frac{m_t}{m_S\left(\frac{\Delta S}{\Delta t}\right)} = \frac{m_t\,\xi'}{m_S\,v_{ср}}.$$

Построив треугольник (рис. II-38, *б*), один катет которого произвольной длины Δ, и измеряя другой в масштабе скорости, получают

$$\operatorname{tg}\delta' = \frac{\Delta}{m_v\,v_{ср}}.$$

Приравнивая тангенсы углов δ и δ', находят соотношение:

$$\Delta = \frac{\xi'\,m_t\,m_v}{m_S}.$$

Проводя последовательно хорды под углами $\delta_{1,2,\ldots}$ к оси S в пределах соответствующих интервалов $\Delta S_{1,2,\ldots}$, получают приращения времени $\Delta t_{1,2,\ldots}$ на каждом из этих интервалов, являющиеся точками кривой $t(S)$. Подобное построение кривых движения изложено, например, в [10, 11].

При расчетах, не требующих большой точности, исходят из условия равномерного движения поезда на каждом элементе профиля (способ установившихся скоростей). При переходе с одного элемента профиля на другой полагают, что скорость меняется скачком (рис. II-39).

Установившуюся скорость на данном элементе профиля определяют в режиме тяги по диаграмме удельных ускоряющих сил; в режиме выбега — по диаграмме удельных сил при $f = 0$, полагая, что $w_0 = i$.

На одних элементах профиля средняя скорость движения больше, на других — меньше установившейся. При достаточно большом числе элементов профиля ошибки примерно компенсируют друг друга. Скорость корректируют на тех элементах профиля, на которых осуществляют пуск и торможение поезда. Поэтому вводят поправку на время хода, считая, что $T = \Sigma t + \Delta T N$, где N — количество остановок.

На замедление поезда с электровозом при остановке на раздельном пункте принимают $\Delta T = 1$ мин и $\Delta T = 2$ мин на разгон; для электропоезда $\Delta T = 0{,}4$ мин на замедление и $\Delta T = 0{,}5$ мин на разгон.

При ускорении $a_п$ (м/с²) и замедлении $a_т$ (м/с²) поправку ΔT рассчитывают по формуле

$$\Delta T = \frac{1}{432}\left(\frac{v_п}{a_п} + \frac{v_т}{a_т}\right) \text{ мин},$$

где $v_п$ — скорость выхода на безреостатную характеристику, м/с;

$v_т$ — скорость начала торможения, м/с.

Наименьшая ошибка в определении времени хода методом установившихся скоростей получается при локомотивах с жесткими характеристиками.

Кривые потребления тока и мощности. Мощность локомотива постоянного тока пропорциональна току $I_э$, потребляемому

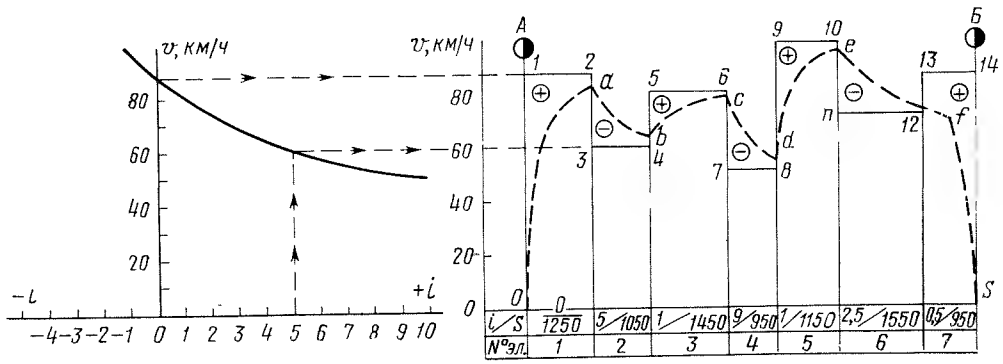


Рис. II-39. Построение кривой $v(S)$ методом установившихся скоростей

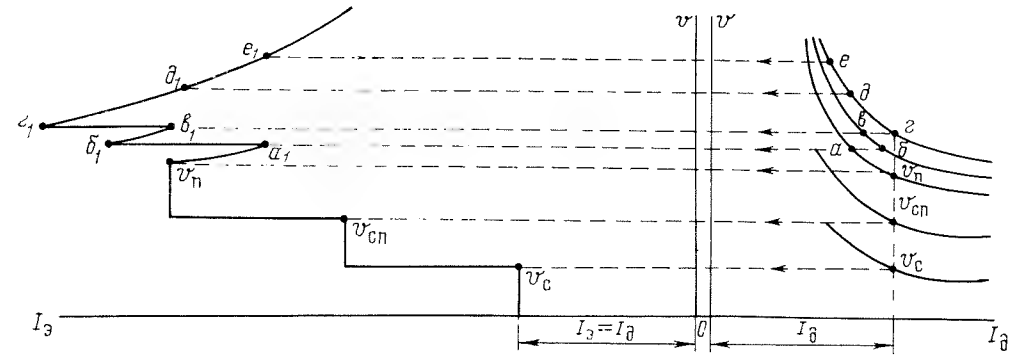


Рис. II-40. Построение кривой тока, потребляемого электровозом на различных соединениях тяговых двигателей

из сети. Поэтому строят кривые $I_э(t)$ и $I_э(S)$, представляющие в другом масштабе зависимости тока двигателя $I(t)$ и $I(S)$, так как $I_э = In$, где n — число параллельных цепей тяговых двигателей электровоза на данном их соединении. При построении кривых тока учитывают длительность движения на каждом соединении двигателей. Считают, что новый режим устанавливается мгновенно; на кривых тока и мощности получаются в момент перехода остроконечные пики, которые в действительности несколько сглаживаются под влиянием индуктивностей цепи.

На рис. II-40 показано построение кривой $v(I_э)$. Построение кривой $I_э(S)$ путем исключения значения v из кривых $v(I_э)$ и $v(S)$ представлено на рис. II-41.

На рис. II-42 — II-44 приведены токовые характеристики электровозов постоянного тока в тяговом режиме.

Кривую тока электровоза при рекуперации (рис. II-45) строят на основании кривой $v(S)$ и характеристики рекуперативного режима $v(I_{эр})$ для каждой схемы соединения двигателей и соответствующих позиций контроллера.

При системе переменного тока ток, потребляемый локомотивом из сети, не пропорционален току двигателя (вследствие изменения коэффициента трансформации, коэффициента мощности и к. п. д. трансформатора и преобразователей). Для расчета системы энергоснабжения строят кривые полной $P(t)$ и активной мощности $P_a(t)$ или активного тока $I_a(t)$ локомотива.

Расчет ведут по формулам:

$$P = UI,\ I_a = I\cos\varphi;\ I_р = I\sin\varphi;$$

$$P_a = P\cos\varphi = UI_a;\quad P_р = P\sin\varphi = UI_р;$$

$$P = \sqrt{P_a^2 + P_р^2},\quad I = \sqrt{I_a^2 + I_р^2}.$$

Активная мощность локомотива P_a равна сумме активной мощности P'_a тяговых двигателей (включая мощность собственных нужд) и мощности потерь $\Delta P_{тп}$ в трансформаторе и преобразователях:

$$P_a = UI_a = P'_a + \Delta P_{тп} = \frac{P'_a}{\eta_{тп}},$$

где $\eta_{тп} = \eta_т\eta_п$ — к. п. д. трансформатора и преобразователей.

На рис. II-46 — II-48 приведены токовые характеристики электровозов однофазно-постоянного тока в тяговом режиме.

Построение кривой тока главного генератора $I_г$ и тока тяговых двигателей тепловозов производят так же, как и электровозов постоянного тока.

Зависимости $I_г(v)$, показанные на рис. II-49 — II-52 при определенной по-

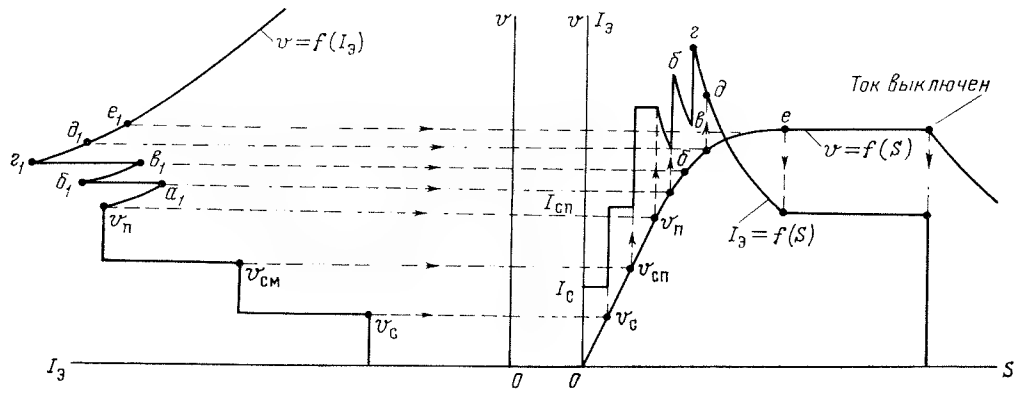
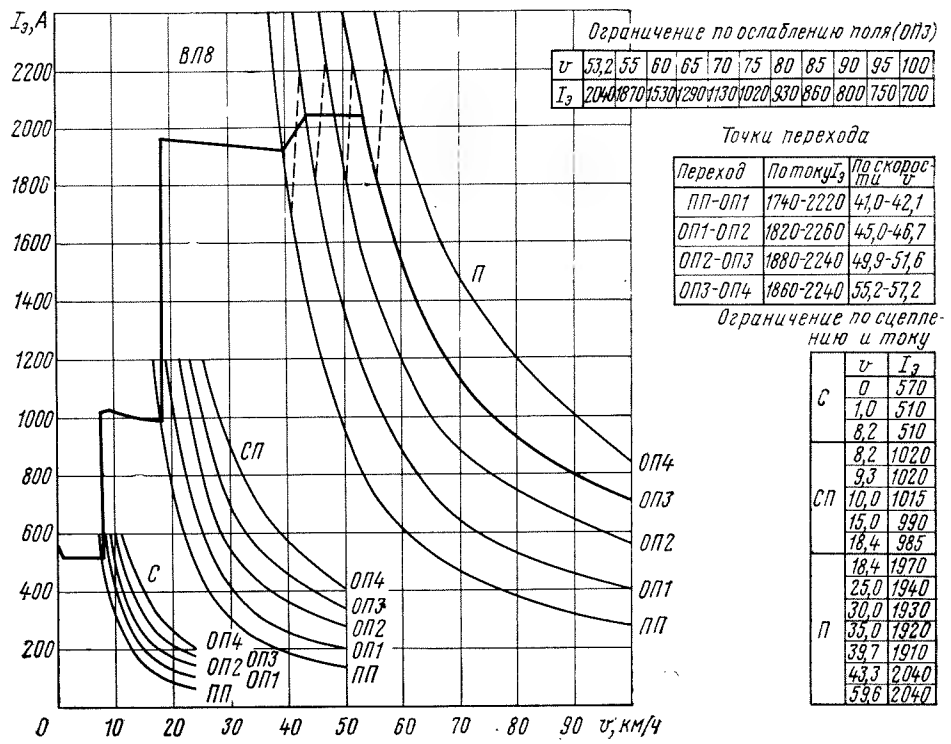


Рис. II-41. Построение кривой тока электровоза в функции пути



Ограничение по ослаблению поля (ОП3)

v	53,2	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$I_э$	2040	1870	1530	1290	1130	1020	930	860	800	750	700

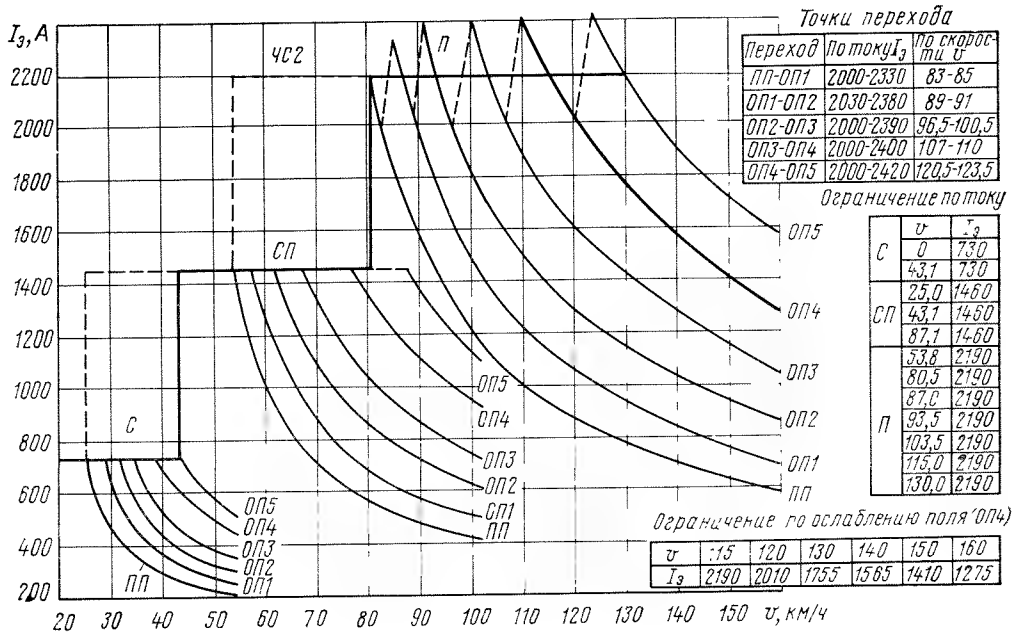
Точки перехода

Переход	По току $I_э$	По скорости v
ПП-ОП1	1740-2220	41,0-42,1
ОП1-ОП2	1820-2260	45,0-46,7
ОП2-ОП3	1880-2240	49,9-57,6
ОП3-ОП4	1860-2240	55,2-57,2

Ограничение по сцеплению и току

	v	$I_э$
С	0	570
	1,0	510
	8,2	510
СП	8,2	1020
	9,3	1020
	10,0	1015
	15,0	990
	18,4	985
П	18,4	1970
	25,0	1940
	30,0	1930
	35,0	1920
	39,7	1910
	43,3	2040
	59,6	2040

Рис. II-42. Токовые характеристики электровоза ВЛ8



Точки перехода

Переход	По току $I_э$	По скорости v
ПП-ОП1	2000-2330	83-85
ОП1-ОП2	2030-2380	89-91
ОП2-ОП3	2000-2390	96,5-100,5
ОП3-ОП4	2000-2400	107-110
ОП4-ОП5	2000-2420	120,5-123,5

Ограничение по току

	v	$I_э$
С	0	730
	43,1	730
СП	25,0	1460
	43,1	1460
	87,1	1460
П	53,8	2190
	80,5	2190
	87,0	2190
	93,5	2190
	103,5	2190
	115,0	2190
	130,0	2190

Ограничение по ослаблению поля (ОП4)

v	115	120	130	140	150	160
$I_э$	2190	2010	1755	1565	1410	1275

Рис. II-43. Токовые характеристики электровоза ЧС2

зиции контроллера машиниста, снимаемые при испытаниях, приводятся в паспорте тепловоза или дизель-поезда.

Построение кривой мощности $P(S)$ основано на графическом способе исключения v из кривых $v(S)$ и $P(v)$ путем замены значений скорости соответствующими значениями пройденного пути. Аналогично строят кривую $P(t)$ с той лишь разницей, что значения скорости заменяют соответствующими им величинами времени.

Исходными для построения являются характеристики $P(v)$, $P_a(v)$, $I(v)$ периода пуска и нескольких ступеней регулирования, включая наивысшую, а также кривые $v(S)$ и $v(t)$ при езде на этих ступенях регулирования.

На рис. II-53 в левом квадранте представлены кривые $P(v)$, $P_a(v)$, $I(v)$; в правом — $v(S)$ и $v(t)$.

Для построения кривых мощности $P(S)$ и $P(t)$ задаются произвольными значениями скорости v_1, v_2, ... и по кривым $v(S)$ и $v(t)$ находят соответствующие выбранным значениям скорости пути S_1, S_2, ..., пройденные поездом, и времена движения t_1, t_2, ... По кривой $P(v)$ для принятых значений скорости v_1, v_2, ... находят соответствующие значения P_1, P_2 ... и откладывают их как ординаты при значениях абсцисс S_1, S_2, ... и t_1, t_2 ... Концы этих ординат определяют точки кривых $P(S)$ и $P(t)$ при фиксированных значениях пути S_1, S_2, ... и времени t_1, t_2, ... Соединяя отрезками найденные точки, получают ломаные линии, представляющие искомые зависимости $P(S)$ и $P(t)$ соответственно. Аналогичным образом строят эти кривые для любых ступеней регулирования скорости и режимов работы электровоза.

Учет влияния изменения напряжения в контактной сети на движение поезда. Причинами изменения напряжения на токоприемнике э. п. с. являются колебания напряжения в первичной системе электроснабжения железной дороги, потери напряжения в контактной сети и оборудовании подстанций, а также непрерывные изменения потерь напряжения в контактной сети вследствие изменения взаимного расположения поездов на участке питания и режимов их работы.

Изменения напряжения на токоприемнике отражаются на скорости движения, времени хода, нагрузках тяговых двигателей, их нагревании и работе вспомогательного оборудования. Точный учет влияния этих изменений напряжения на условия работы электроподвижного состава сложен из-за многообразия действующих факторов. Поэтому пользуются приближенными методами.

Метод последовательных приближений заключается в том, что данное направление дороги разбивают на отдельные участки, для каждого из которых по кривым движения, построенным для номинального напряжения, находят средние значения напряжения. Затем снова строят кривые движения, но уже при найденных средних значениях напряжения, и вновь находят средние значения напряжения и т. д. Расчет повторяют до тех пор, пока среднее напряжение на любом участке при последующем его определении не окажется близким к своему предыдущему значению. Этот метод весьма трудоемок и без использования современных вычислительных машин практически неосуществим.

Согласно Правилам тяговых расчетов для поездной работы скорость v' при по-

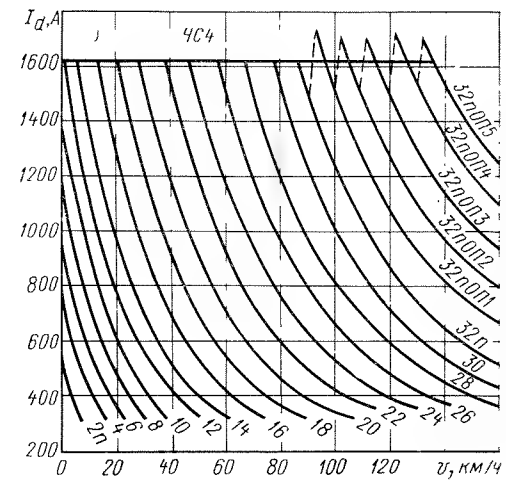


Рис. II-44. Токовые характеристики электровоза ЧС4

ниженном напряжении в контактной сети определяют по формуле

$$v' = v\frac{U'_э}{U_э},$$

где v — скорость при номинальном напряжении $U_э$ на токоприемнике на данной позиции контроллера;

$U'_э$ — расчетное пониженное напряжение на токоприемнике при той же силе тяги.

Ограничения силы тяги по току и режим работы (позиция регулирования) грузовых электровозов на расчетном подъеме принимают те же, что и при нормальном напряжении; для пассажирских, ускоренных грузовых и грузо-пассажирских поездов — по тяговым характеристикам, пересчитанным на пониженное напряжение. Расчетные ограничения силы тяги при трогании с места не меняются.

Характеристики рекуперативного торможения при пониженном напряжении принимают такими же, как и при номинальном напряжении.

Для электроподвижного состава переменного тока на пониженное напряжение перестраивают характеристики $I_э(v)$, $I_д(v)$, $I_d(v)$, $I_{da}(v)$.

Время хода поезда при изменениях напряжения в контактной сети определяют также по формуле

$$T' = T_0 + \frac{(T - T_0)\,[(\nu\varkappa - 1)\,\kappa'_u + 1]}{\nu\varkappa\kappa_u^2},$$

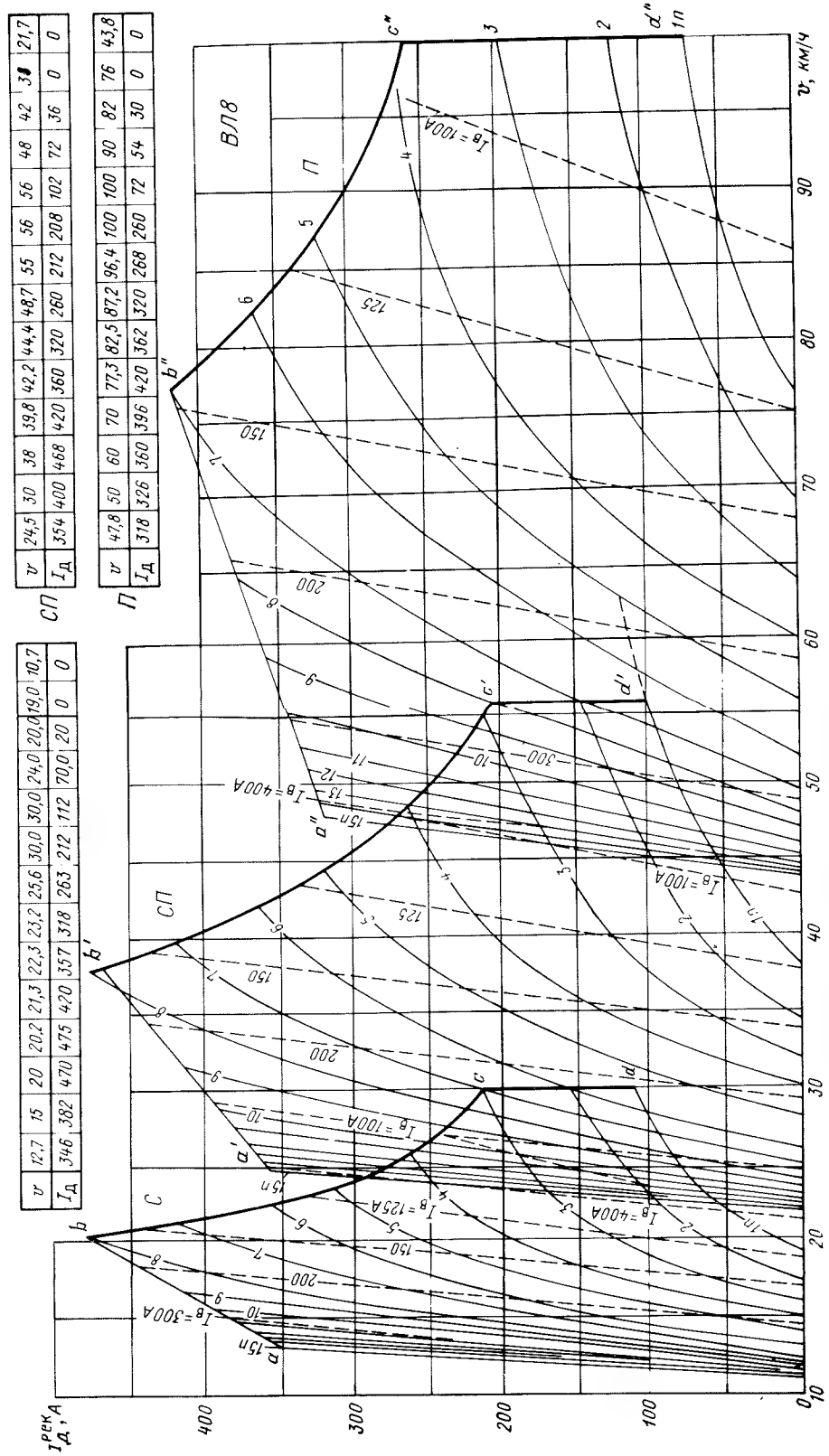


Рис. II-45. Токовая характеристика электровоза ВЛ8 при рекуперативном торможении:

$\frac{I_д}{I_в}$ 28; bc, b'c', b''c'' — ограничения по сцеплению; cd, c'd', c''d'' — ограничения по номинальной скорости

ab, a'b', a''b'' — ограничения по току

v	I_d										
	5п	9п	13п	17п	21п	25п	29п	33п	33п ОП1	33п ОП2	33п ОП3
5	43	174	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	24	105,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	17,2	65	182	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	43,8	119	275	—	—	—	—	—	—	—
30	—	28,3	63,2	135	266	432	—	—	—	—	—
40	—	—	44,2	82,7	147	255,5	405	570	—	—	—
50	—	—	—	61,5	101	162	251	379	440	510	581
60	—	—	—	51,7	78	116,5	175	254	313	383	437
70	—	—	—	—	65,4	93,5	135	189	244	301	350
80	—	—	—	—	—	80,4	112	151,5	200	248	299
90	—	—	—	—	—	—	98	129	169	214	262
100	—	—	—	—	—	—	87,5	113	147	190	236
110	—	—	—	—	—	—	—	102	135,5	174	220

Точки перехода

Переход на 33п	По току I	По скорости v
НП-ОП1	355-393	51,5-53,2
ОП1-ОП2	367-413	55,2-57,0
ОП2-ОП3	390-435	59,1-60,3

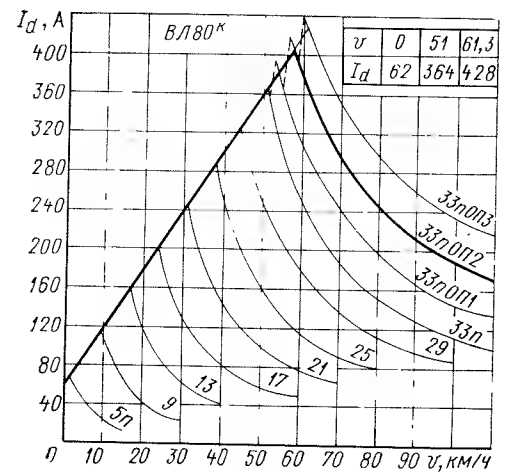


Рис. II-46. Характеристика выпрямленного тока электровоза ВЛ80к с тяговыми двигателями НБ-418К6

где $\kappa_u = \frac{U_э'}{U_э}$;

T_0 — время стоянок и движения по вредным спускам;

$\varkappa = \frac{v_у}{v_х}$ — находят по кривым движения для напряжения U ($v_у$ — наибольшая установившаяся скорость на перегоне; $v_х$ — средняя ходовая скорость);

ν — эмпирический коэффициент, зависящий от длины перегона (в среднем $\nu = 0{,}85 \div 0{,}95$).

Может быть также использована зависимость:

$$T = \frac{T_1}{(1-H)} + (1-H)\,T_2, \quad \text{(II-19)}$$

где T_1 — «чистое» время хода;

T_2 — потеря времени на разгон и замедление ($T_1 = T - T_2$);

$H = \frac{\Delta U_{ср}}{U}$ — относительная средняя потеря напряжения на данном перегоне.

Для поездов малого веса и легких по профилю перегонов разность $1-H$ примерно равна отношению установившихся скоростей или напряжений

$$1-H = \frac{v'}{v} = \frac{U'}{U}.$$

Тормозные расчеты. *Тормозной путь* $S_т$ — расстояние, проходимое поездом от момента начала торможения (с момента поворота рукоятки крана машиниста или стоп-крана) до его остановки, складывается из подготовительного $S_п$ и действительного $S_д$ путей торможения:

$$\left.\begin{aligned} S_т &= S_п + S_д, \quad S_п = 0{,}278 v_0 t_п; \\ S_д &= \Sigma \frac{500\,(v_н^2 - v_к^2)}{\xi\,(1000\,\vartheta_р\,\varphi_{кр} + w_{ох} + i_с)}, \end{aligned}\right\} \quad \text{(II-20)}$$

где v_0 — скорость поезда в момент начала торможения, км/ч;

$v_н$, $v_к$ — начальная и конечная скорости в расчетном интервале, км/ч;

$i_с$ — спрямленный (в профиле и плане) уклон, ‰, для которого производится тормозной расчет (при спуске $i_с$ берется с минусом);

$\vartheta_р = \frac{\Sigma K_р}{Q-P}$ — расчетный тормозной коэффициент, где $\Sigma K_р$ — сумма расчетных сил нажатия на тормозные оси поезда;

$\varphi_{кр}$ и $w_{ох}$ — расчетный коэффициент трения колодки о бандаж и удельное основное сопротивление движению поезда при $v_{ср} = 0{,}5(v_н + v_к)$ в расчетном интервале.

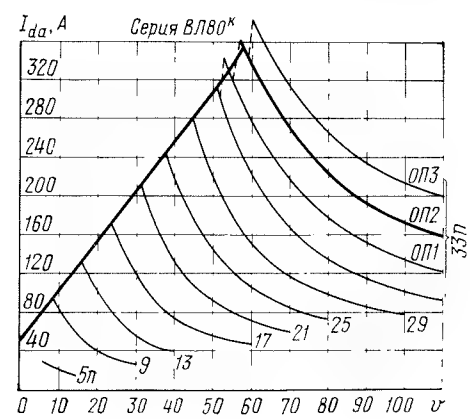
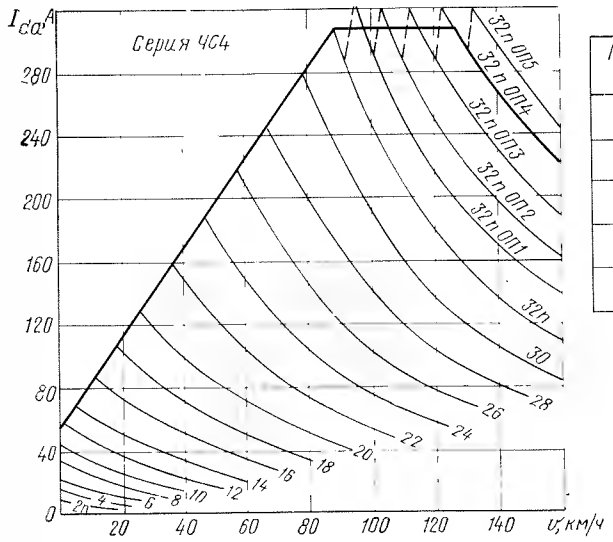


Рис. II-47. Характеристика активного тока электровоза ВЛ80к с тяговыми двигателями НБ-418К



Точки перехода

Переход на 32 п	По току $I_{да}$	По скорости v
НП – ОП1	285–326	91 – 93
ОП1–ОП2	290–320	100 – 102
ОП2–ОП3	290–319	109 – 111,5
ОП3–ОП4	289 – 320	119,5 – 122
ОП4–ОП5	293 – 318	130 – 132

Пусковой ток

v	0	86,5	134
$I_{да}$	54	307	307

Рис. II-48. Характеристика активного тока электровоза ЧС4

Рекомендуются следующие значения ξ, км/ч²:

Грузовые и пассажирские поезда	120
Одиночные электровозы	107
» тепловозы	114
Электропоезда	119
Дизель-поезда	116

Время подготовки тормозов к действию $t_п$, с, по которому рассчитывают путь подготовки, зависит от количества осей в поезде и типа тормоза, которым оборудован данный подвижной состав:

для грузовых составов длиной 200 осей (и менее) при автоматических тормозах

$$t_п = 7 - \frac{10 i_c}{1000 \vartheta_р \varphi_{кр}};$$

для грузовых составов длиной от 200 до 300 осей при автоматических тормозах

$$t_п = 10 - \frac{15 i_c}{1000 \vartheta_р \varphi_{кр}};$$

для пассажирских поездов при пневматических тормозах и одиночно следующих локомотивов

$$t_п = 4 - \frac{5 i_c}{1000 \vartheta_р \varphi_{кр}};$$

для пассажирских поездов при электропневматических тормозах

$$t_п = 2 - \frac{3 i_c}{1000 \vartheta_р \varphi_{кр}};$$

при ручных тормозах $t_п = 60$ с.

В этих формулах:

$\vartheta_р$ — расчетный тормозной коэффициент (принимается как при экстренном торможении);

$\varphi_{кр}$ — расчетный коэффициент трения колодки о бандаж при наибольшей скорости.

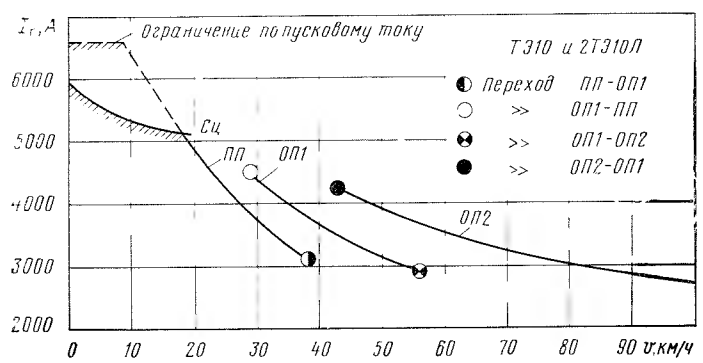
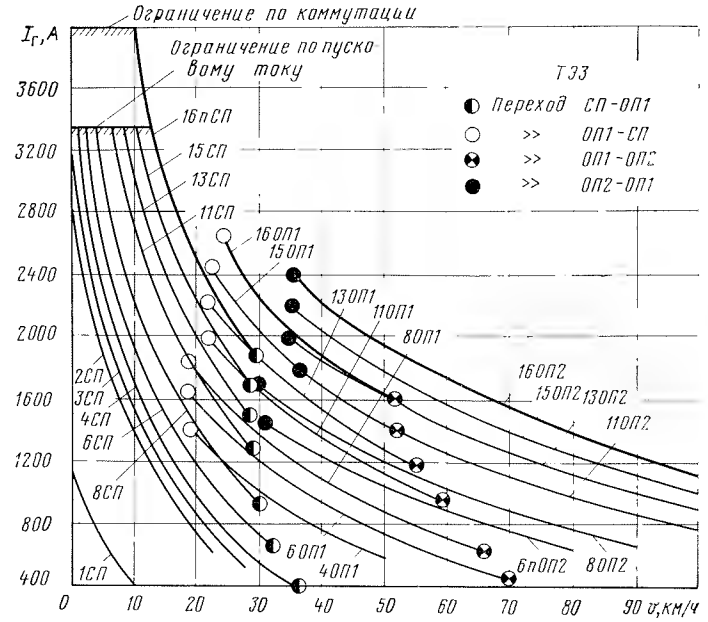


Рис. II-49. Ток генератора тепловозов ТЭ10 и 2ТЭ10Л с тяговыми двигателями ЭД-107 на 15-й позиции рукоятки контроллера

Рис. II-50. Ток генератора тепловоза ТЭ3



В грузовых поездах на спусках до 20‰ тормозную силу локомотива и его вес в расчет не принимают. Во всех остальных случаях — учитывают.

Длина тормозного пути зависит от времени подготовки тормозов к действию,

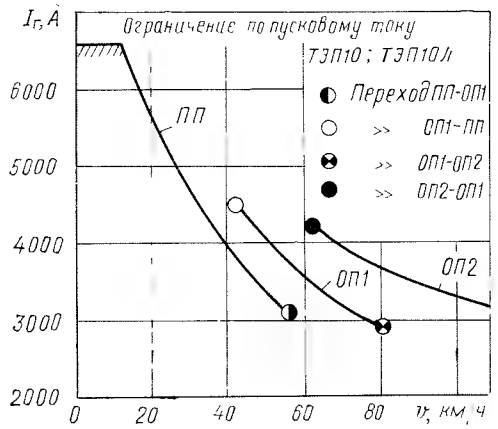


Рис. II-51. Ток генератора тепловоза ТЭП10 и ТЭП10Л с тяговыми двигателями ЭД-107 на 15-й позиции рукоятки контроллера

тормозного коэффициента и от коэффициента трения, зависящего от скорости торможения. Таким образом, величины $S_т$, $v_т$, $\vartheta_р$ и i_c связаны между собой.

При тормозных расчетах определяют в зависимости от поставленных задач:

1. Наибольшую допустимую скорость начала торможения на данном уклоне при известном тормозном коэффициенте и тормозном пути.

2. Необходимый тормозной коэффициент при заданном тормозном пути и начальной скорости торможения на спуске известной крутизны.

3. Тормозной путь на данном элементе профиля при известном тормозном коэффициенте и начальной скорости торможения.

4. Максимальную крутизну элемента профиля пути при известной скорости начала торможения, тормозном коэффициенте и тормозном пути.

Аналитическое решение этих задач на основании интегрирования уравнения движения является сложным, поэтому тормозные задачи обычно решают графическим путем.

Для решения задач первого типа сначала рассчитывают характеристику удельной замедляющей силы $b_з(v)$, исходя из заданного тормозного коэффициента $\vartheta_р$ при экстренном торможении. Затем строят, обычно способом МПС, кривую торможения $v(S)$ на заданном тормозном пути (рис. II-54). Построение этой кривой начинают из конца O'' тормозного пути при скорости $v = 0$. Далее по формуле (II-19) определяют при произвольной скорости движения подготовительный путь. Отложив его величину при принятой скорости движения v вправо от оси ординат, соеди-

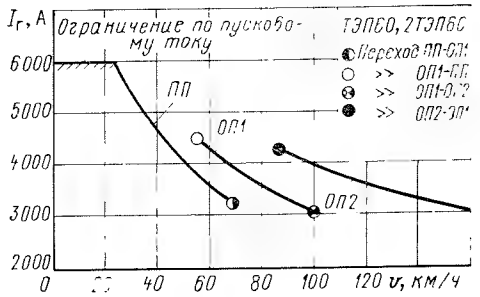


Рис. II-52. Ток генератора тепловозов ТЭП60 и 2ТЭП60 с тяговыми двигателями ЭД-108 на 15-й позиции рукоятки контроллера

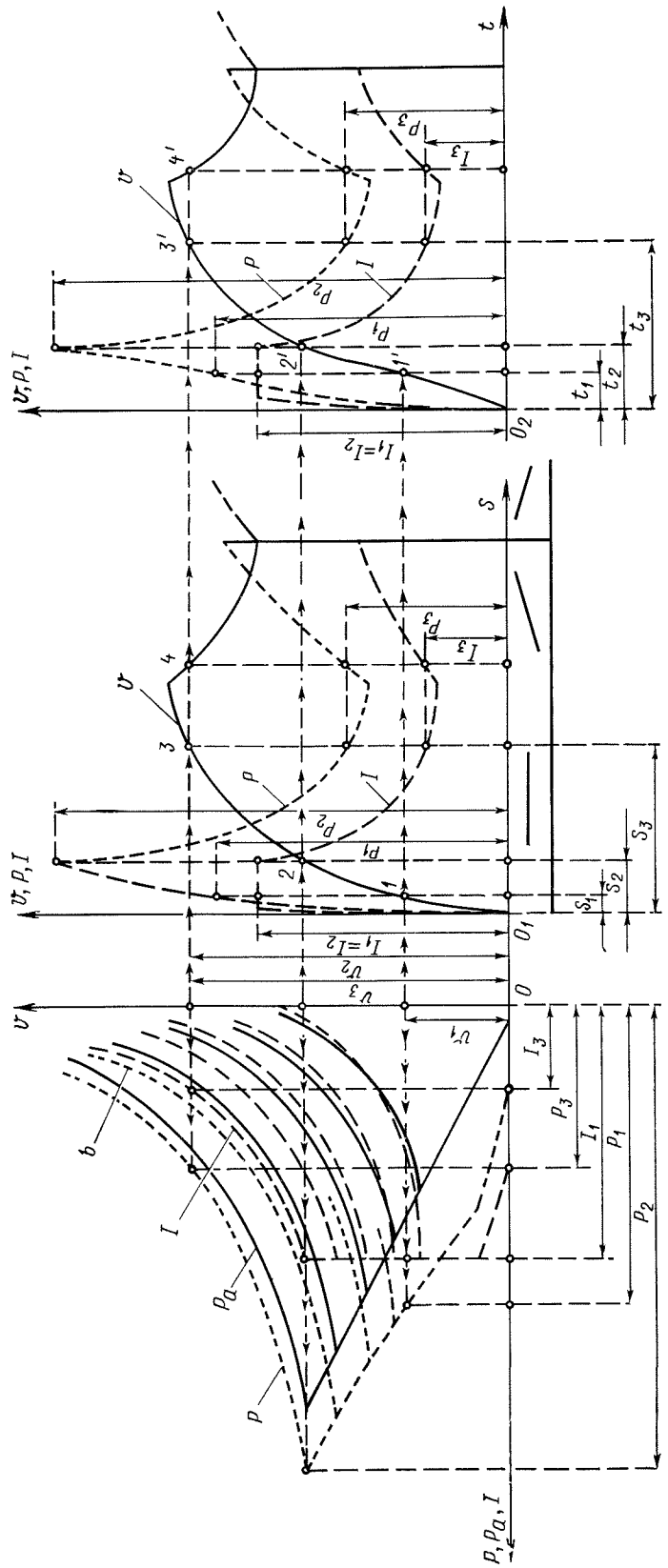


Рис. II-53. Построение кривой мощности электровоза $P(S)$

няют конец отрезка BA с началом координат. Ордината точки пересечения этой прямой $O'A$ с кривой $v(S)$ дает значение максимально допустимой скорости движения поезда по тормозам $v_т$ на данном уклоне крутизной i (‰).

Для нахождения кривой ограничения скорости в зависимости от крутизны уклона элемента профиля, на котором производится торможение, построение повторяют для нескольких значений уклона: $i_1 > 0$, $i_2 > i_1$ и т. д. При этом подготовительный путь на уклоне i_1 будет BA_1, на уклоне i_2 — BA_2 и т. д. Максимально допускаемая по тормозам скорость на уклоне i_1 равна $v_{т1}$, на уклоне i_2 — $v_{т2}$ и т. д. Найденные значения максимальных скоростей представляют в виде кривой $v_{max}(i)$, показанной на рис. II-55.

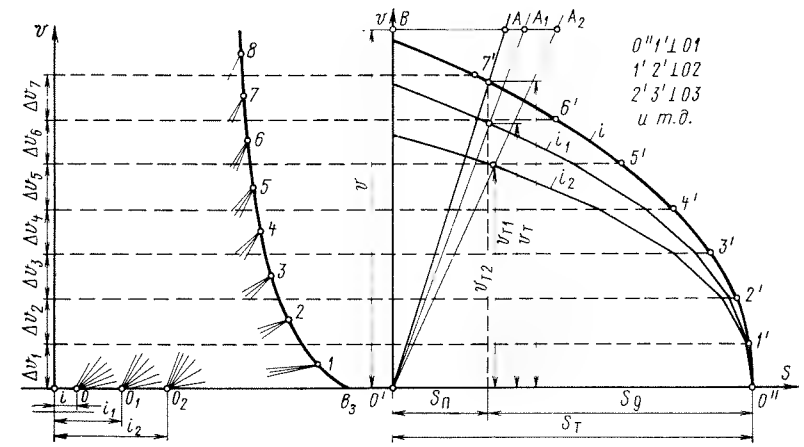


Рис. II-54. Построение кривой торможения

Тормозной коэффициент при известных значениях тормозного пути и величине уклона определяют методом интерполяции. Задаются несколькими значениями тормозного коэффициента ϑ_1, ϑ_2, ... и для каждого из них рассчитывают характеристику удельной замедляющей силы $b_з(v)$. Затем строят кривые изменения скорости $v(S)$ для режима торможения, а также зависимости подготовительного пути от времени подготовки для каждого значения тормозного коэффициента. Ординаты точек пересечения кривых $v(S)$ и $S_п(v_т)$ определяют скорости начала торможения $v_{т1}$, $v_{т2}$ ... для принятых коэффициентов ϑ_1, ϑ_2, ... и т. д. Построив по этим значениям кривую $\vartheta(v_т)$, находят искомое значение тормозного коэффициента для заданной скорости движения $v_т$.

Длину тормозного пути на данном элементе профиля при известном тормозном коэффициенте и начальной скорости торможения определяют на основании зависимостей (II-20). Для сокращения времени на подобные расчеты разработаны номограммы [9].

Максимальную крутизну спуска при известных скорости начала торможения, тормозном коэффициенте и тормозном пути определяют также на основании зависимостей $v(S)$, $S_п(v_т)$ и $\vartheta(v_т)$.

Принципы выполнения тяговых расчетов на электронных вычислительных машинах. Механические и электромеханические интеграторы уравнения движения поезда, а также специализированные вычислительные машины непрерывного действия, построенные для выполнения тяговых расчетов (АТР-1, УАТР-60), не обладают достаточным быстродействием и широкого распространения не получили.

Значительно более эффективно выполнение тяговых расчетов на цифровых электронных вычислительных машинах

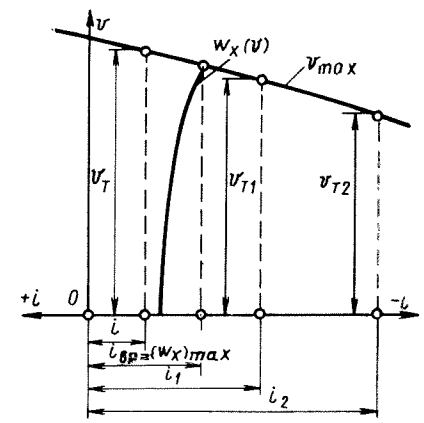


Рис. II-55. Кривая ограничения скорости при торможении

(ЭЦВМ), заключающееся в численном интегрировании уравнения движения поезда одним из приближенных методов. Для этого исходные данные и характеристики локомотивов преобразуют так, чтобы их можно было записать в виде дискретных значений (таблиц) в память машины. В процессе выполнения тяговых расчетов эти данные используются машиной в соответствии с разработанной программой для

выполнения необходимых арифметических и логических операций.

Решение уравнения движения начинается с режима пуска, для чего в арифметическое устройство ЭЦВМ вызываются из ее памяти значения удельных сил. На каждом шаге интегрирования машина сравнивает полученный результат с заданной скоростью движения или ее ограничениями, записанными в памяти.

Если в результате интегрирования на данном шаге скорость оказывается выше допустимой, управление счетом машины передается (возвращается) в предыдущую ячейку для выбора другого режима движения, например, другого соединения тяговых двигателей. После этого интегрирование повторяется на данном шаге при измененном режиме и результат снова сравнивается с заданным.

Если скорость движения, полученная в результате интегрирования, несколько меньше допустимой, ее значение печатается на ленту, и затем машина производит дальнейшее интегрирование без изменения режима движения.

Зависимость $v(S)$ в режиме торможения до остановки можно рассчитать пробным подбором скорости начала торможения с тем, чтобы поезд остановился у назначенного места. Эту же зависимость можно определить, исходя из заданного места остановки и скорости в момент начала торможения. Для этого определяют скорость, соответствующую пересечению кривой $v(S)$ в режиме выбега с аналогичной кривой в режиме тяги.

Наиболее эффективно применение ЭЦВМ в случае, когда программа выполнения тяговых расчетов составлена с учетом наилучшего использования объема памяти и разрешающих способностей вычислительной машины при обеспечении достаточной точности расчетов.

Правилами тяговых расчетов для поездной работы предусмотрена методика их выполнения на ЭЦВМ с единой системой подготовки и сходных данных в виде специальных карточек, характеризующих расчетные участки пути, типы и свойства локомотивов и составов, а также режимы их движения.

Уравнение движения поезда в диапазоне скоростей от $v_{min} = 15 \div 25$ км/ч до допускаемой скорости $v_{доп}$ интегрируется по пути, при этом используется разложение функции $v(S)$ в ряд Тейлора с сохранением трех его членов:

$$v(S) = v_0 + v' \Delta S + v'' \frac{\Delta S^2}{2}. \qquad (II\text{-}21)$$

В качестве шага по пути выбирается элемент профиля или его часть таким образом, чтобы удовлетворялись условия:

$$\left.\begin{aligned} & v' \Delta S < \Delta v_{доп1}, \\ & \text{где } \Delta v_{доп1} = 3 \div 5 \text{ км/ч}; \\ & v'' \frac{\Delta S^2}{2} < \Delta v_{доп2}, \\ & \text{где } \Delta v_{доп2} = 0{,}1 \div 0{,}5 \text{ км/ч}. \end{aligned}\right\} \qquad (II\text{-}22)$$

При малых скоростях, когда $v < v_{min}$, осуществляется интегрирование по скорости. При этом принимается:

$$\left.\begin{aligned} & \Delta v < \Delta v_{доп1}; \\ & v_{ср} = \frac{2v_0 + \Delta v}{2}; \\ & \Delta S = \frac{v_{ср} \Delta v}{\xi f(v_{ср})}, \end{aligned}\right\} \qquad (II\text{-}23)$$

где $f(v_{ср})$ — удельная ускоряющая (замедляющая) сила, соответствующая скорости движения $v_{ср}$.

Если после достижения допускаемой скорости $v_{доп}$ использование режима тяги приводит к превышению $v_{доп}$, то до конца элемента, имеющего данные ограничения и уклон, строится кривая движения со средней скоростью

$$v^*_{ср} = v_{доп} - \Delta v. \qquad (II\text{-}24)$$

Скорость $v^*_{ср}$ может быть получена чередованием режимов тяги и выбега или чередованием режимов выбега и торможения.

Для получения кривых движения, обеспечивающих приход в заданную точку с заданной скоростью (к остановке или ограничению скорости) интегрирование проводят в обратном направлении. Точку пересечения кривых прямого и обратного движения определяют как пересечение двух отрезков, соответствующих тем шагам интегрирования, на которых это пересечение происходит.

Для каждого перегона строят три кривые $v = f(S)$: движения поезда без остановок на раздельных пунктах, отправления с места от начальной станции, прибытия на стоянку на конечной станции.

Независимо от способа интегрирования уравнения движения поезда приращение времени на каждом шаге

$$\Delta t = \frac{2\Delta S}{2v_0 + \Delta v}. \qquad (II\text{-}25)$$

Расход энергии или топлива при движении поезда в режиме тяги рассчитывают по формулам (II-40)—(II-43); при тепловозной тяге учитывают также расход топлива на холостом ходу. Принимают

$$I_{эср} = I(v^*_{ср})\alpha_t; \qquad (II\text{-}26)$$

$$G = G(v^*_{ср})\alpha_t + g_x(1 - \alpha_t), \qquad (II\text{-}27)$$

где $I(v^*_{ср})$, $G(v^*_{ср})$ — соответственно ток и расход топлива в режиме тяги при $v^*_{ср}$;

α_t — относительная доля режима тяги в общем времени движения;

g_x — константа расхода топлива на холостом ходу.

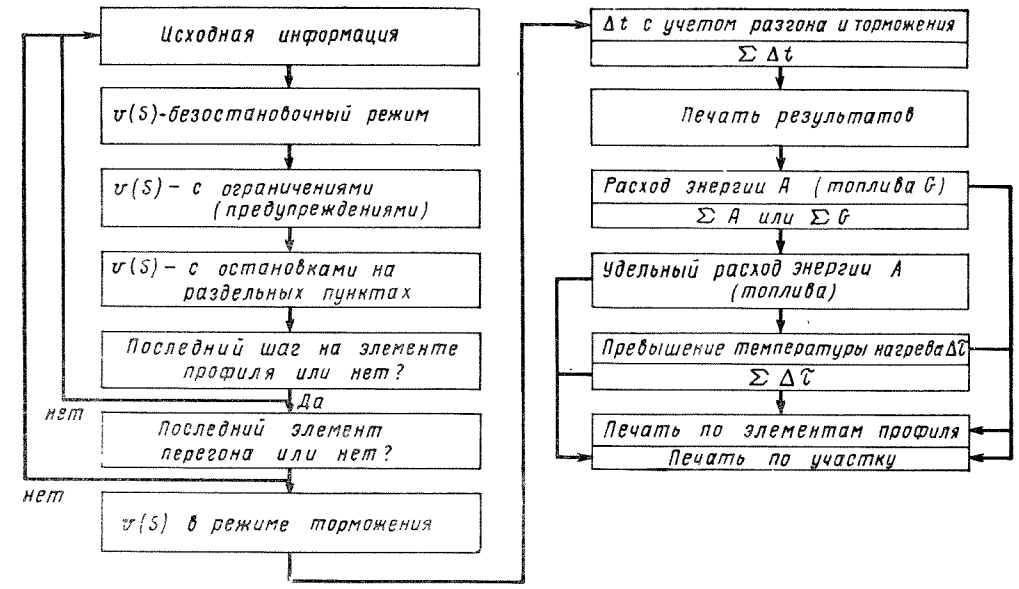


Рис. II-56. Структурная схема тягового расчета на ЭЦВМ

Превышения температуры нагрева генератора и тяговых электродвигателей над температурой окружающей среды в режиме тяги и при езде без тока рассчитывают по формулам (II-61), (II-62).

Тяговый расчет на ЭЦВМ осуществляют с помощью отдельных программ, каждая из которых имеет свое назначение и соответствующий объем операций.

В процессе тягового расчета выполняют три основных комплекса операций.

1. Ввод перфокарт, содержащих исходную информацию об участках, ее предварительную обработку и запись в память машины.

2. Запись в память машины исходной информации о локомотивах, вагонах и составах.

3. Непосредственные вычисления искомых величин и печать их.

На рис. II-56 приведена структурная схема тягового расчета.

Программа тягового расчета предусматривает: проверку тормозов на эффективность в указанном пункте с учетом информации о составе; ограничение скорости с учетом длины поезда; ограничение скорости на главных станционных путях при движении без остановок на раздельных пунктах, а также ограничения скорости движения на главном или на боковом путях; использование мощности локомотива и кратной тяги без предварительной подготовки суммарной тяговой характеристики; расчет на любой части участка с заданными начальными условиями и построение непрерывной кривой движения поезда без остановок при любом количестве следующих друг за другом участков с изменением тяги в нужных местах (толкание сходу); выполнение не менее трех вариантов расчета с учетом предупреждений для тех перегонов, где они заданы; получение по каждому перегону следующих результатов расчета — времени хода, разгона и замедления, расхода энергии ΔA или топлива ΔG на движение без остановок и на разгон, величины и места наибольшего нагрева двигателей и генератора температуры их нагрева в конце перегона; наличия на перегоне мест следования поезда со скоростью ниже расчетной на расстоянии большем 500 м как при движении без остановок, так и при разгоне. Основной вид печати обеспечиваемый программой, — печать итогов по перегонам. Кроме того, предусмотрена печать по шагам интегрирования значений v, S, t, τ, A или G.

II-5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГИИ И ТОПЛИВА НА ДВИЖЕНИЕ ПОЕЗДА

Расход энергии на движение поезда. Энергия, потребляемая неавтономными локомотивами из контактной сети, а также энергия, вырабатываемая первичным двигателем автономных локомотивов, расходуется: на преодоление основного сопротивления движению; преодоление сопротивления кривых; преодоление сопротивления уклонов; потери в тормозах при торможении поезда на спусках; потери в тормозах при остановках; потери в тяговых двигателях, трансформаторах, преобразователях и т. д; потери в пусковых устройствах; на собственные нужды локомотива (отопление, освещение, питание цепей управления и т. п.); отопление и кондиционирование вагонов пассажирских, рефрижераторных и других поездов. Расход электрической энергии на движение поезда определяют аналитическим или графическим методом.

При *аналитическом методе* последовательно вычисляют отдельные составляющие, которые затем суммируют. Так, работу A_W, затрачиваемую на преодоление сопротивления движению поезда весом G (тс) на перегоне длиной S (км), подсчитывают как

$$A_W = 1000G \int_0^S (w_0 + i_п)\, dS \quad \text{кгс·м}, \qquad (II\text{-}28)$$

где $i_п$ — приведенный уклон с учетом удельного сопротивления от кривых.

Для упрощения расчета вместо уклона $i_п$ вводят на всей длине рассматриваемого участка уклон, эквивалентный по расходу энергии:

$$i_э = \frac{1000\,(H_к - H_н)}{S} + \frac{\Sigma\,(i_{вр} - w_х)\,S_{вр} + \Sigma\, w_{кр} S_{кр}}{S}\ {}^0/_{00}, \qquad (II\text{-}29)$$

где $i_{вр}$ — вредный уклон, $^0/_{00}$;
$S_{вр}$ — длина вредного уклона, м;
$H_к$ и $H_н$ — конечная и начальная отметки участка.

Вредными уклонами считают такие, для которых $i > w_х$ [избыточная энергия выбега $(i_{вр} - w_х)\,S_{вр}$ должна быть погашена в тормозах, см. рис. II-55].

Заменив в (II-28) w_0 его средним значением $w_{ср}$, соответствующим $v_{ср}$, с учетом (II-29) получим

$$A_W = 1000GS\,(w_{ср} + i_э) \quad \text{кгс·м}, \qquad (II\text{-}30)$$

или

$$A_W = 2{,}725GS\,(w_{ср} + i_э) \quad \text{Вт·ч}.$$

Потеря энергии в тормозах $A_т$ при одной остановке поезда

$$A_т = \frac{2{,}725}{1000} \cdot \frac{Gv_т^2}{2\cdot 3{,}6^2} \left[\frac{1000\,(1+\gamma)}{9{,}81} - \frac{w_т + i_т}{a_т}\right] \quad \text{Вт·ч}, \qquad (II\text{-}31)$$

где $v_т$ — скорость в момент начала торможения, км/ч;
$w_т$ — среднее удельное основное сопротивление движению на тормозном пути; ориентировочно его находят по кривой $w_0 = f(v)$ при движении без тока для скорости $0{,}7\,v_т$;
$i_т$ — среднее значение приведенного уклона на тормозном пути, $^0/_{00}$;
$a_т$ — среднее замедление, км/ч².

Механическая работа $A_м$ тяговых двигателей на участке S (км) равна сумме A_W и $A_т$. Последнюю составляющую умножают на отношение $S : S_п$, так как общая потеря энергии в тормозах пропорциональна числу остановок ($S_п$ — средняя длина перегона между двумя остановками). Таким образом,

$$A_м = 2{,}725GS\left\{(w_{ср} + i_э) + \frac{3{,}86v_т^2}{10^5\, S_п} \times \left[102\,(1+\gamma) - \frac{w_т + i_т}{a_т}\right]\right\} \quad \text{Вт·ч}. \qquad (II\text{-}32)$$

С учетом потерь энергии в тяговых двигателях составляющая расхода энергии

$$A_{мд} = \frac{A_м}{\eta_{ср.дв}} - A_м, \qquad (II\text{-}33)$$

где $\eta_{ср.дв}$ — средний к. п. д. двигателей (его принимают на 1 — 1,5% ниже максимального при наличии передачи).

Потери энергии в тяговом трансформаторе электровоза переменного тока

$$A_{тр} = \frac{A_{мд} + A_с}{\eta_{ср.тр}}\,(1 - \eta_{ст.тр}) \quad \text{Вт·ч},$$

где $\eta_{ср.тр}$ — средний к. п. д. трансформатора (при среднем значении активного тока электровоза);
$A_с$ — расход энергии электровозом на собственные нужды.

Потери в тяговых выпрямительных установках электровоза

$$A_в = \Delta U_{ср}\, I_{вср}\, T_{х/т}\, N \quad \text{Вт·ч},$$

где $\Delta U_{ср}$ — среднее падение напряжения в выпрямительной установке при ее токе $I_{в\,ср}$;
$T_{х/т}$ — время хода электровоза под током, ч;
N — число выпрямительных установок на электровозе.

Потери в тяговых двигателях электровозов переменного тока вследствие питания пульсирующим напряжением

$$A_{дп} = (1{,}02 \div 1{,}03)A_д \quad \text{Вт·ч},$$

где $A_д$ — потери в двигателях при питании постоянным током.

В электровозах постоянного тока потери энергии в пусковых реостатах (на один пуск):

$$A_п = \frac{2{,}725G\kappa_п v_п^2}{2\cdot 3{,}6^2\cdot 1000}\left[\frac{1000\,(1+\gamma)}{9{,}81} + \frac{w_п + i_п}{a_п}\right] \quad \text{Вт·ч}, \qquad (II\text{-}34)$$

где $v_п$ — скорость выхода на безреостатную характеристику, км/ч;
$w_п$ — среднее удельное сопротивление движению поезда за время пуска, кгс/тс;
$i_п$ — среднее значение приведенного уклона пути, $^0/_{00}$;
$\kappa_п$ — коэффициент пусковых потерь ($\kappa_п = {}^1/_2$ при двухступенчатом пуске; $^1/_3$ — при трехступенчатом пуске шестиосного электровоза; $^3/_8$ — при трехступенчатом пуске восьмиосного электровоза).

Для определения общих пусковых потерь энергии на участке S значение $A_п$ увеличивают в отношении $S : S_п$.

Суммируя выражения (II-30) — (II-34), получают расход энергии на движение поезда на участке постоянного тока

$$A = 2{,}725GS\left\{\frac{w_{ср} + i_э}{\eta_{ср}} + \frac{3{,}86v_т^2}{10^5\eta_{ср}\, S_п} \times \left[102\,(1+\gamma) - \frac{w_т + i_т}{a_т}\right] + \frac{3{,}86\kappa_п\, v_п^2}{10^5\cdot S_п} \times \left[102\,(1+\gamma) + \frac{w_п + i_п}{a_п}\right]\right\} \quad \text{Вт·ч}. \qquad (II\text{-}35)$$

Удельный расход энергии на движение поезда (отнесенный к 1 тс веса поезда при передвижении на 1 км):

$$a = \frac{A}{GS} = 2{,}725\,\frac{w_{ср} + i_э}{\eta_{ср}} + \frac{1{,}05}{10^4\, S_п} \times \left\{\frac{v_т^2}{\eta_{ср}}\left[102\,(1+\gamma) - \frac{w_т + i_т}{a_т}\right] + \kappa_п\, v_п^2\left[102\,(1+\gamma) + \frac{w_п + i_п}{a_п}\right]\right\} \quad \text{Вт·ч/ткм}. \qquad (II\text{-}36)$$

Пренебрегая небольшим влиянием вторых составляющих в квадратных скобках, получаем

$$a = \frac{2{,}725\,(w_{ср} + i_э)}{\eta_{ср}} + \frac{10{,}7\,(1+\gamma)}{1000S_п} \times \left(\frac{v_т^2}{\eta_{ср}} + \kappa_п\, v_п^2\right) \quad \text{Вт·ч/ткм}. \qquad (II\text{-}37)$$

В общем выражении расхода энергии на движение поезда на переменном токе не будет составляющей $A_п$, но следует учитывать потери $A_{тр}$, $A_в$ и $A_{дп}$.

Потери энергии при рекуперации

$$\frac{A_т}{\eta_{ср}} - A_т\,\eta_{рек} = \frac{A_т}{\eta_{ср}}\,(1 - \eta_{ср}\,\eta_{рек}). \qquad (II\text{-}38)$$

Для определения только энергии, переработанной тяговыми двигателями с учетом рекуперативного режима (например, для расчета их нагревания), энергию рекуперации не вычитают, а прибавляют к общему ее потреблению. При этом потери $A_т$ умножают не на $1 - \eta_{ср}\,\eta_{рек}$, а на $1 + \eta_{ср}\eta_{рек}$.

Для определения энергии, переработанной тяговыми двигателями при реостатном торможении, заменяют $\eta_{рек}$ на $\eta_{рт}$, где $\eta_{рт}$ — средний к. п. д. двигателей при реостатном торможении.

В случае расчета энергии рекуперации (или реостатного торможения) при торможении не до полной остановки поезда подставляют в формулы (II-36) и (II-37) вместо $v_т^2$ величину $(v_т^2 - v_0^2)\,(1 \pm \eta_{ср}\eta_{рек})$.

Знак минус берут при определении расхода энергии на движение поезда; плюс — при определении количества энергии, переработанной тяговыми двигателями.

Удельный расход энергии на собственные нужды поезда

$$a_с = \frac{P_с}{Gv_{уч}} \quad \text{Вт·ч/ткм},$$

где $P_с$ — средняя мощность собственных нужд, Вт;
$v_{уч}$ — участковая скорость.

Расход энергии на питание вспомогательных машин, цепей управления и освещения определяют исходя из средней потребляемой для этих целей мощности и полного времени работы электровоза (сумма времени движения и стоянок под напряжением на участке, деповских путях и в депо).

Средняя мощность вспомогательных цепей одного электровоза, кВт:

ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22м	35
ВЛ23, ЧС2	50
ЧС1, ЧС3	30
ВЛ8	55
ВЛ10	65
ВЛ60, ВЛ60к, ВЛ60р, ВЛ60п, ЧС4	100
ВЛ80, ВЛ80к	210

Расход энергии на отопление учитывают дополнительно, исходя из полного времени работы электровозов в отопительном сезоне и средней расходуемой мощности 4 — 8 кВт на один электровоз.

Расход энергии на собственные нужды электровозов считают не зависящим от напряжения.

Расход энергии на питание вспомогательных машин электропоездов определяют исходя из полного времени их работы и средней потребляемой ими мощности которая для десятивагонного поезда ЭР1, ЭР2 составляет 35 кВт, десятивагонного поезда ЭР9 (ЭР9П) — 65 кВт.

Расход энергии на освещение и отопление учитывают дополнительно исходя из установленной мощности и времени работы. Мощность печей десятивагонного поезда ЭР1, ЭР2, ЭР9 — 175 кВт, осветительных ламп — 18 кВт.

Общий удельный расход энергии a', отнесенный к первичной стороне тяговых подстанций, находят как сумму всех составляющих, деленную на к. п. д. контактной сети $\eta_с$ и тяговых подстанций $\eta_п$:

$$a' = \frac{\kappa_a\,\kappa_{сп}}{\eta_с\,\eta_п}\left\{2{,}725\,\frac{w_{ср} + i_э}{\eta_{ср}} + \frac{1{,}05v_т^2}{10^4\,\eta_{ср}\,S_п} \times \left[102\,(1+\gamma) - \frac{w_т + i_т}{a_т}\right] + \frac{1{,}05\kappa_п\, v_п^2}{10^4\cdot S_п} \times \left[102\,(1+\gamma) + \frac{w_п + i_п}{a_п}\right]\right\} \quad \text{Вт·ч/ткм}, \qquad (II\text{-}39)$$

где κ_a — коэффициент, учитывающий расход энергии на деповских путях, маневровую работу и дополнительные подтормаживания; ориентировочно $\kappa_a = 1{,}03 \div 1{,}05$;

$k_{сн} = 1{,}05$ — коэффициент собственных нужд для электровозов и электропоездов постоянного тока; $k_{сн} = 1{,}05 \div 1{,}08$ для электровозов и электропоездов переменного тока.

Расход энергии на движение по деповским путям и на маневровую работу уточняют по опытным данным в соответствии с фактическим объемом работы. При отсутствии опытных данных, а также при проектировании новых линий и в ориентировочных расчетах для существующих линий, эти расходы принимают, руководствуясь следующим.

При движении по деповским путям расходы принимают по количеству электровозов и электропоездов, выдаваемых из депо в течение суток, считая на каждый электровоз ВЛ22, ВЛ23 по 10 — 15 кВт · ч; электропоезда ЭР1, ЭР2, ЭР9 (ЭР9П) — по 30 — 50 кВт · ч; электровозы ВЛ8, ЧС1, ЧС3, ЧС2 — по 15 — 20 кВт · ч; электровозы ВЛ60, ВЛ60^к, ВЛ60^р, ЧС4 — по 30—45 кВт · ч; электровозы ВЛ80, ВЛ80^к — по 45 — 60 кВт · ч.

При маневровой работе в депо расходы получают исходя из следующей ежесуточной затраты на каждый инвентарный электровоз или электропоезд; электровозы ВЛ22, ВЛ23, ВЛ8, ЧС1, ЧС3, ЧС2 — по 5 — 10 кВт · ч; электровозы ВЛ60, ВЛ60^к, ВЛ60^п, ВЛ60^р, ВЛ80, ВЛ80^к и электропоезда ЭР1, ЭР2, ЭР9 (ЭР9П) — по 15 — 30 кВт · ч; ЭР22, ЭР22^м — по 40 — 50 кВт · ч.

При маневровой работе электровозов с вагонами на станции расходы получают из расчета затраты на каждый час маневровой работы, включая расход электроэнергии на передвижение и собственные нужды для электровозов постоянного тока — по 100 кВт · ч; для электровозов переменного тока — по 200 кВт · ч.

Расход энергии на деповских путях и при маневровой работе считают не зависящим от напряжения.

Расход энергии на движение поездов можно определить *графическим методом*, используя кривые потребляемого тока в функции пути и времени как функции пути. При этом для электроподвижного состава постоянного тока

$$A = \frac{U_э \Sigma I_{ср\,э} \Delta t}{60} \text{ Вт·ч}, \qquad (II\text{-}40)$$

где $I_{ср\,э}$ — средний ток электровоза, А, за время Δt, мин.

Для электроподвижного состава переменного тока

$$A = \frac{U_э \Sigma I_{da\,ср} \Delta t}{60} \text{ Вт·ч}, \qquad (II\text{-}41)$$

где $I_{da\,ср}$ — действующее значение активного тока электровоза, А, за время Δt.

При наличии рекуперации энергии на постоянном токе

$$A = \frac{U_э}{60} [(\Sigma I_{ср\,э} \Delta t)_{тяги} - (\Sigma I_{ср\,э} \Delta t)_{рек}] \text{ Вт·ч}, \qquad (II\text{-}42)$$

где первая сумма в круглых скобках подсчитывается за время режима тяги, вторая — за время рекуперации.

При рекуперации на переменном токе в формулу (II-42) подставляют не $I_{ср\,э}$, а $I_{da\,ср}$.

В зимних условиях (при температуре окружающего воздуха —20° С) расход энергии, определенный расчетом, увеличивают для грузовых поездов на 5 —10%.

Построение кривой расхода энергии $A(S)$ показано на рис. II-57. Кривую $A(S)$ строят на основании зависимостей $v(S)$, $I_э(v)$.

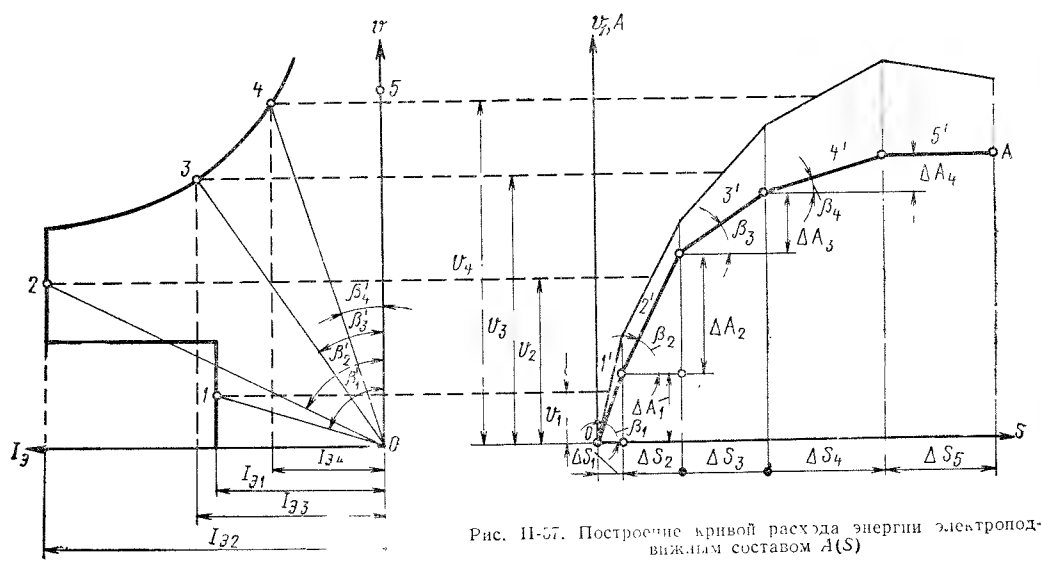


Рис. II-57. Построение кривой расхода энергии электроподвижным составом $A(S)$

Из рис. II-57 найдем

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{m_A}{m_S} \cdot \frac{\Delta A}{\Delta S} \text{ и } \operatorname{tg}\beta' = \frac{m_I}{m_v} \cdot \frac{I_{э\,ср}}{v_{ср}},$$

при этом $\Delta A = U_{ср} I_{эср} \Delta t$;

m_A — масштаб энергии, мм/Вт · ч.

Полагая $\beta = \beta'$, найдем масштаб энергии

$$m_A = \frac{m_I}{m_U} \cdot \frac{m_s}{U_{ср}} \text{ мм/Вт·ч}.$$

Задаваясь последовательными значениями v и S, находят среднюю скорость движения $v_{ср}$ и проводят лучи из начала координат кривой $I_э(v)$ в точки с координатами ($v_{ср}$, $I_{э\,ср}$). Отрезки кривой $A(S)$ строят на каждом интервале пути как перпендикуляры к этим лучам.

При рекуперации диаграмму $v(I_э)$ поворачивают на 180° относительно оси v, и лучи располагаются в первом квадранте. Отрезки хорд кривой $A(S)$ получают отрицательный наклон и ординаты кривой $A(S)$ уменьшаются.

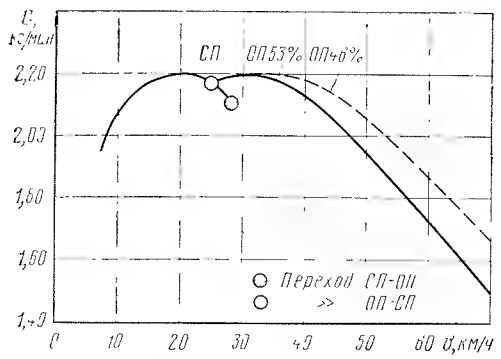


Рис. II-58. Расход топлива в режиме тяги тепловозом ЧМЭ2 на 9-й позиции рукоятки контроллера

Определение расхода энергии методом установившихся скоростей заключается в том, что сначала на основании характеристик поезда $F = G(w_0 \pm i)$ и тормозной силы в режиме рекуперации $B = G(i - w_0)$ находят по кривым $F(I)$ и $B(I)$ для различных уклонов зависимость $I_э(i)$. Для каждого уклона определяют установившийся ток $I_э$, который умножают на время Δt движения по данному уклону. Эти произведения суммируют, причем отдельно — для режима тяги и режима рекуперации. Далее находят разность $\Sigma(I_э \Delta t)_{тяги} - \Sigma(I_э \Delta t)_{рек}$, которую подставляют в формулу (II-42).

К найденному расходу энергии добавляют на основании выражения (II-37) величину

$$A_{пт} = \frac{10{,}7(1+\gamma)}{1000} \cdot \frac{GS}{S_п} \left(\frac{v_т^2}{\eta_{ср}} + \kappa_п v_п^2 \right).$$

Для учета рекуперации до скорости $v_к$ вместо величины $v_т^2$ подставляют величину $(v_т^2 - v_к^2)(1 - \eta_{ср}\eta_{рек}) + v_к^2$.

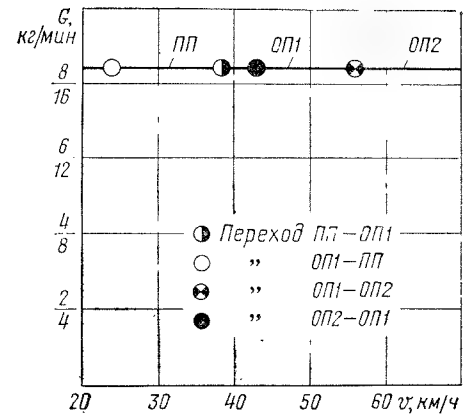


Рис. II-59. Расход топлива в режиме тяги тепловозами ТЭ10 и 2ТЭ10Л с тяговыми двигателями ЭД-107 (в числителе даны цифры для тепловоза ТЭ10, в знаменателе — для 2ТЭ10Л)

Расход топлива. При тепловозной тяге (в том числе и дизель-поездах) расход топлива на перемещение состава определяют по формуле

$$E = \sum_1^n G \Delta t + g_х t_х, \qquad (II\text{-}43)$$

где Δt — время работы дизеля, в пределах которого скорость движения поезда принята постоянной, мин;

G — расход топлива, соответствующий этой скорости движения поезда при определенной позиции рукоятки контроллера машиниста, кг/мин;

$g_х$ — расход топлива тяговыми силовыми установками тепловоза или дизель-поезда на холостом ходу, кг/мин;

$t_х$ — время движения поезда по участку на холостом ходу, мин.

На рис. II-58 — II-61 приведены кривые зависимости расхода топлива $G(v)$ от скорости движения тепловозов.

При движении одиночных тепловозов в режиме тяги по станционным и деповским путям удельный расход топлива на один дизель (движение на первой ходовой позиции рукоятки контроллера машиниста, скорость движения 10 — 15 км/ч) принимают равным для тепловозов ТЭ3, ТЭ7 — 0,6 кг/мин; тепловозов ТЭ10, 2ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭП10, ТЭП10Л — 0,5 кг/мин; тепловозов ТЭП60, 2ТЭП60 — 1,0 кг/мин, тепловозов остальных серий, а также дизель-поездов — 0,3 кг/мин.

Средние величины расхода топлива на одну вспомогательную установку дизель-поездов ДР1 0,18 кг/мин, дизель-поездов ДП — 0,35 кг/мин.

Пути снижения расхода энергии и топлива на тягу поездов. Удельный расход энергии зависит в основном от веса поезда, профиля пути и скорости движения. У грузовых поездов он колеблет-

ся от 10 до 20 Вт · ч/ткм, у пассажирских — от 20 до 30 Вт · ч/ткм.

Снизить расход энергии (топлива) на движение поездов можно путем уменьшения основного сопротивления движению, повышения к. п. д. локомотива, уменьшения потерь энергии при торможении, снижения потерь энергии при пусках, а также применяя наиболее рациональные режимы вождения поездов, обеспечивающие полное использование его кинетической энергии при преодолении подъемов, экономичные режимы пуска и торможения и т. д.

чании пуска и снизить скорость начала торможения.

Экономию топлива при тепловозной тяге можно получить ведением поезда в режимах, соответствующих наибольшему к. п. д. тепловоза при условии обеспечения заданного времени хода по перегону и веса поезда.

На экономичность работы дизеля оказывают влияние такие эксплуатационные факторы, как температура смазочного масла, температура наддувочного воздуха, степень отложения нагара на выпускных окнах дизеля.

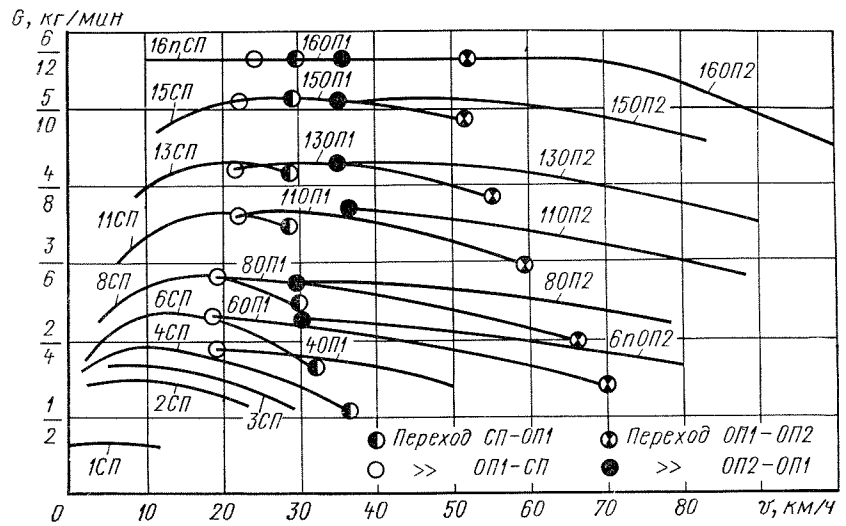


Рис. II-60. Расход топлива в режиме тяги тепловозом ТЭ3 (в числителе даны цифры — для одной секции, в знаменателе — для двух)

С повышением ускорения уменьшаются потери в пусковых реостатах электроподвижного состава постоянного тока. Эти потери тем меньше при данном ускорении, чем мягче тяговая характеристика.

При движении электросекций на перегонах длиной 2 км повышение ускорения сверх 0,8 — 1,0 м/с² практически уже мало влияет на расход энергии. Чем меньше длина перегона, тем выше наивыгоднейшие ускорения. При электровозной тяге из-за сравнительно редких пусков и остановок доля энергии, расходуемая на них, относительна мала. Величина пускового ускорения выбирается при этом исходя из максимально допустимого тока тяговых двигателей или условий сцепления колес локомотива с рельсами.

Увеличение тормозного замедления при данной технической скорости снижает расход энергии (топлива), однако в меньшей степени, чем увеличение пускового ускорения.

Снижение расхода энергии и топлива на движение поезда достигается также применением регулирования возбуждения тяговых двигателей, позволяющего увеличить скорость движения поезда по окон-

По данным ЦНИИ МПС температура охлаждающей воды при изменении ее в диапазоне 70 — 90° С не оказывает заметного влияния на экономичность дизеля, в то время как температура масла на входе в дизель (особенно ниже 60° С) существенно влияет на расход топлива.

При снижении температуры масла с 60 до 52 — 50° С удельный расход топлива тепловозами 2ТЭ10Л растет примерно на 2,7%; при снижении с 70 — 71° С до 60° С — на 1,5%. Поскольку при этих изменениях температуры смазочного масла качество рабочего процесса дизеля не ухудшается, то, значит, имеются определенные резервы повышения экономичности работы дизелей.

С повышением температуры наддувочного воздуха на 10° С эффективный расход топлива дизелем 10Д100 растет в среднем на 1,8 г/л. с. ч. При этом вследствие уменьшения коэффициента избытка воздуха ухудшается рабочий процесс дизеля, происходит большая потеря тепла с выхлопными газами и снижается использование топлива в цилиндре.

Поскольку в эксплуатации тепловозы работают значительную часть времени

при температурах воздуха в ресивере выше 60 и 70° С, имеется возможность снизить расход топлива за счет более глубокого охлаждения воздуха. Однако это снижение температуры воздуха на холостом ходу дизеля, который составляет 50 — 60% всего времени работы, увеличит расход топлива. Поэтому окончательный вывод о целесообразности осуществления этого мероприятия делают по результатам опытов и оценке эффективности его применительно к конкретным участкам эксплуатации.

Влияние на экономичность дизеля оказывает качество масла и смазки, от которых зависит нагарообразование, приводящее к увеличению расхода топлива.

Для уменьшения нагара, помимо подбора более эффективных присадок к маслу или топливу, в эксплуатации используют наиболее эффективные режимы работы тепловозов.

Наивыгоднейший режим движения поезда выбирают путем нахождения минимума основных издержек, на которые оказывают влияние скорость и количество израсходованной энергии (топлива).

Сумма расходов по передвижению одного поезда на участке в предположении, что режим его движения на данном участке не влияет на условия работы других участков, составит

$$C_{\text{пп}} = C_{\text{ч}} T + C_{\text{э}} A \text{ руб./поездо-перегон,}$$

где $C_{\text{ч}}$ — стоимость одного поездо-ч, включая расходы, связанные со стоимостью подвижного состава и грузов (в пассажирском движении $C_{\text{ч}}$ — стоимость 1 ч времени, затрачиваемого пассажирами);

$C_{\text{э}}$ — расходы в руб. на 1 кВт · ч затраченной энергии, включая при электрической тяге расходы по тяговым подстанциям и контактной сети (в стоимость 1 кВт · ч входит также часть ремонтных расходов по подвижному составу и пути, зависящие от механической работы поезда, с которой тесно связан расход энергии на движение).

Условие минимума расходов:

$$\left(\frac{dA}{dT}\right)_{\text{опт}} = -\frac{C_{\text{ч}}}{C_{\text{э}}} \text{ кВт·ч/ч.}$$

При наивыгоднейшем режиме производные $\frac{dA}{dT}$ одинаковы для всех перегонов и равны по абсолютной величине $C_{\text{ч}}/C_{\text{э}}$. При тепловозной тяге вместо расхода энергии A определяют расход топлива G.

Наивыгоднейший режим движения поезда на перегоне между двумя остановками выбирают на основании анализа кривых расхода энергии или топлива в функции времени хода при различных режимах ведения.

Наивыгоднейшее время хода соответствует точке, в которой тангенс угла наклона касательной к оси абсцисс равен

$$\frac{m_A}{m_t}\left(\frac{dA}{dT}\right)_{\text{опт}} = -\frac{m_A}{m_t} \cdot \frac{C_{\text{ч}}}{C_{\text{э}}},$$

где m_t — масштаб времени, мм/ч.

В более детальных расчетах расход дифференцируют по составляющим элементам, используя уточненные значения единичных расходных ставок.

Нормирование расхода электрической энергии и топлива на тягу поездов. Норму расхода определяют как произведение исходной нормы, установленной в результате выполнения расчетов для поезда заданного веса, следующего с локомотивом

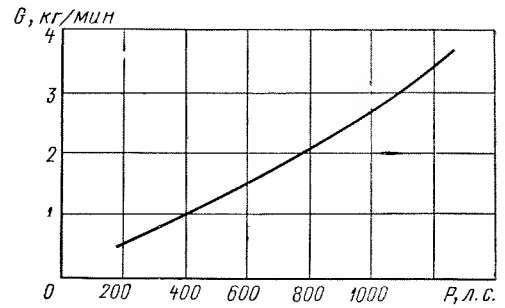


Рис. II-61. Расход топлива в режиме тяги тепловозом ТЭП10 и ТЭП10Л с тяговыми двигателями ЭД-107 на 15-й позиции рукоятки контроллера

данного типа при средней скорости движения, и ряда коэффициентов, учитывающих для сокращения времени на расчет, особенности сопротивления движению данного состава, изменения температуры окружающего воздуха, холостую работу локомотива и т. п.

Норма расхода устанавливается на выполнение 10 тыс. ткм брутто (для электроподвижного состава в кВт · ч, для тепловозов — в килограммах натурного топлива) по каждому тяговому плечу и направлению по видам поездов, предусмотренных графиком движения. Нормируется также расход энергии и топлива на 1 ч маневровой работы, на 1 ч простоя в депо или на станционных путях в ожидании работы.

Расчет расхода электроэнергии (на 10 тыс. ткм брутто) для электровозов (без учета его веса) ведется по формуле

$$e = e_0 \kappa_{\text{сп}} \kappa_{\mu} \kappa_i \kappa_{\text{т}} + z' (\Delta e_{\text{т}} + \Delta e_{\text{р}}) + e_{\text{сл}} (\kappa_{\text{в}} + \theta \kappa'_{\text{в}}) \text{ кВт·ч,}$$

а для тепловозов расход топлива

$$n = n_0 \kappa_{\text{сп}} \kappa_{\mu} \kappa_i \kappa_{\text{т}} + z' \Delta n_{\text{т}} + \kappa_{\text{х}} n_{\text{х}} + \theta_{\text{с}} \kappa'_{\text{х}} n_{\text{х}} \text{ кг,}$$

где e_0, n_0 — исходные нормы расхода соответственно электроэнергии и топлива при движении на площадке состава из четырехосных вагонов (табл. II-6 — II-8);

$\kappa_{сп}$ — коэффициент, учитывающий изменение сопротивления движению состава;

κ_{μ} — коэффициент, характеризующий влияние степени использования грузоподъемности вагонов;

κ_i — коэффициент трудности нормируемого участка;

$\kappa_{т}$ — температурный коэффициент данного периода;

$\kappa_{х}$ — коэффициент холостого хода локомотивов;

z' — число остановок по графику движения на 100 поездо-км;

$\Delta e_{т}$, Δn_{1} — затраты соответственно электроэнергии и топлива на восстановление кинетической энергии, расходуемой при торможении;

$\Delta e_{р}$ — потери в реостатах;

$n_{х}$ — затраты топлива на холостой ход при $\kappa_{х} = 1$;

$e_{сл}$ — расход энергии вспомогательными машинами;

$\kappa_{в}$, $\kappa_{в}'$ — коэффициенты использования мощности вспомогательных машин соответственно при движении и на стоянке (в долях номинальной мощности);

$\theta_{с}$ — отношение времени стоянок к общему времени поездки.

При наличии в составе двухосных вагонов вместо коэффициента $\kappa_{сп}$ вводят коэффициент κ_{w}', который изменяется от 1,016 (при 10% двухосных вагонов в составе и $v = 30$ км/ч) до 1,469 (только двухосные вагоны в составе и $v = 70$ км/ч).

Для порожних поездов вместо $\kappa_{сп}$ берут $\kappa_{w}' = 1 + b$, где b меняется от 0,712 ($v = 30$ км/ч) до 1,16 ($v = 70$ км/ч).

Коэффициент $\kappa_{\mu} = 1{,}858$ при статической нагрузке на ось грузового вагона 4 тс и $v = 30$ км/ч; при той же скорости и нагрузке 20 тс $\kappa_{\mu} = 0{,}961$. С ростом скорости κ_{μ} уменьшается, если нагрузка на ось больше 17 — 17,5 тс, и растет в противном случае.

Для грузовых поездов коэффициент $\kappa_i = 1 + a i_{э}$ меняется от 0,570 (при $v = 30$ км/ч) до 0,255 (при $v = 100$ км/ч).

Для тепловозной тяги коэффициент $\kappa_{т}$ при температуре наружного воздуха —30° С равен 1,115; при 0° С — 1,038; при +30° С — 0,959. Для электроподвижного состава коэффициент $\kappa_{т}$ при температуре окружающего воздуха —30° С равен 1,194; при 0° С — 1,065; при +30° С — 0,936.

Значения $\kappa_{в}$, $\kappa_{в}'$, $\theta_{с}$ определяют по результатам опытных поездок.

Величины $\Delta e_{т}$, $\Delta n_{т}$, $\Delta e_{р}$, $e_{сл}$, $n_{х}$ зависят от назначения электровоза или тепловоза (грузовой или пассажирский), веса поезда и скорости движения. Их определяют применительно к конкретным условиям эксплуатации, пользуясь Инструкцией по техническому нормированию расхода электрической энергии и топлива тепловозами на тягу поездов. Там же указаны нормы расхода на одиночное следование локомотива, двойную тягу и подталкивание, а также на маневровую работу.

Норму расхода в целом по депо определяют как частное от деления суммы расходов по каждому виду работы на планируемый объем перевозок, выраженный через показатель 10 тыс. т · км брутто.

Статистические принципы определения составляющих удельного расхода электрической энергии на тягу поездов. Статистические методы, основанные на определении множественных корреляционных связей, позволяют установить вероятностные зависимости между разнородно действующими факторами. Поэтому статисти-

Таблица II-6

Зависимость расхода энергии электровозом ВЛ8 от скорости и веса поезда

Скорость, км/ч	Расход энергии, кВт·ч/10 тыс. ткм брутто, при весе поезда, тс							
	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800
30	72,6	64,0	59,5	56,8	54,8	53,4	52,2	51,2
50	87,0	76,0	71,0	67,6	65,5	63,8	62,3	61,0
70	107,2	94,4	87,6	83,2	80,5	78,4	76,8	75,4
90	133,0	117,4	108,2	102,4	98,6	96,0	94,0	92,4

Таблица II-7

Зависимость расхода энергии электровозом ВЛ80 от скорости и веса поезда

Скорость, км/ч	Расход энергии, кВт·ч/10 тыс. ткм брутто, при весе поезда, тс							
	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800
30	74,0	67,5	64,1	62,0	60,3	59,7	58,5	58,1
50	89,7	84,0	79,5	75,9	74,0	72,6	71,0	70,5
70	112,0	105,0	98,5	93,2	90,7	89,2	87,6	87,2
90	134,6	125,0	119,6	115,0	112,0	110,8	108,8	106,8

Таблица II-8

Зависимость расхода топлива тепловозом 2ТЭ10Л от скорости и веса поезда

Скорость, км/ч	Расход топлива, кг/10 тыс. ткм брутто, при весе поезда, тс				
	1000	1400	1800	2200	2400
30	20,30	18,06	16,80	15,82	15,47
50	24,92	22,12	20,37	19,28	18,83
70	30,80	27,16	24,92	23,45	22,96
90	37,66	33,18	30,38	28,63	28,00

ческими методами можно определить изменение расхода электрической энергии или топлива в зависимости от основных эксплуатационных показателей: среднего веса поезда $\overline{Q}$, технической скорости $\overline{v}_{т}$, приведенного (эквивалентного) подъема $\overline{i}_{э}$, эффективности применения рекуперативного торможения $\overline{\rho}$, средней нагрузки на ось поезда $\overline{q}$, коэффициента технической скорости $\overline{\beta}_{т}$ и т. д. без расчета такого нестабильного показателя, как сопротивление движению подвижного состава.

Уравнение статистических связей (уравнение регрессии) составляющих удельного расхода электрической энергии на тягу поездов с учетом указанных факторов имеет вид:

$$a_{1-7} = b + \beta_2 i_{э} + \beta_3 \overline{Q} + \beta_4 \overline{q} + \beta_5 \overline{\rho} + \beta_6 \overline{v}_{т} + \beta_7 \overline{\beta}_{т},$$

где b — постоянная составляющая удельного расхода электрической энергии (топлива), не зависящая от указанных выше показателей;

β_i — доля данного показателя в удельном расходе электрической энергии (топлива), устанавливаемая на основании анализа корреляционных связей.

Если учитывают n факторов, то расчетное уравнение имеет вид:

$$a_{1-n} = b + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \ldots + \beta_n x_n. \quad \text{(II-44)}$$

Значения β_i находят в результате решения системы линейных уравнений:

$$\left.\begin{array}{l} \beta_2 + \beta_3 r_{23} + \beta_4 r_{24} + \ldots + \beta_n r_{2n} = r_{12}; \\ \beta_3 r_{32} + \beta_3 + \beta_4 r_{34} + \ldots + \beta_n r_{3n} = r_{13}; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \beta_n r_{n2} + \beta_3 r_{n3} + \beta_4 r_{n4} + \ldots + \beta_n = r_{1n}, \end{array}\right\} \quad \text{(II-45)}$$

где r_{ij} — коэффициент взаимной корреляции между двумя рассматриваемыми показателями в уравнении (II-44);

r_{1i} — коэффициент корреляции между рассматриваемым показателем и величиной удельного расхода электрической энергии (топлива).

Исходными материалами для статистического расчета и прогнозирования расхода энергии (топлива) по выражению (II-44) являются норма расхода за предшествующий период и средние значения учитываемых показателей на планируемый период.

II-6. РАСЧЕТ ВЕСА СОСТАВА

Расчет веса состава с учетом использования кинетической энергии поезда (метод подбора).

Расчет веса состава грузового поезда выполняют исходя из условий движения по расчетному подъему с равномерной скоростью и по труднейшим подъемам с неравномерной скоростью и использованием кинетической энергии поезда.

Когда из-за ограничений веса поезда по длине станционных путей, необходимости повышения пропускной способности, условиям унификации весовых норм и т. п. не представляется возможным реализовать расчетные значения силы тяги локомотивов, допускается использование полной мощности локомотива за счет повышения расчетной скорости.

Вес состава пассажирских поездов устанавливается МПС по направлениям в зависимости от категории поезда (скорый, пассажирский и т. д.).

Если характер профиля пути и расположение остановочных и раздельных пунктов участка не позволяют выявить расчетный затяжной подъем, то вес состава находят методом подбора. Для этого принимают расчетный подъем по величине меньше самого крутого на участке, определяют по нему вес состава при движении с установившейся скоростью и полученный вес проверяют на прохождение подъемов большей крутизны за счет использования кинетической энергии поезда. Проверку производят графическим способом или аналитически.

При графическом способе по диаграмме ускоряющих сил для состава, рассчитанного по предполагаемому расчетному подъему, строят кривую скорости для перегона, имеющего подъем наибольшей крутизны. Построение кривой $v(S)$ начинают с элемента профиля, на котором скорость движения поезда может быть известна заранее (например, от раздельного пункта, где была остановка; от пункта участка с равномерной скоростью, когда перед проверяемым подъемом есть затяжные элементы профиля; от пункта, где имеется ограничение скорости и т. д.).

Проверку выполняют по формуле

$$S \leqslant \frac{4{,}17\,(v_{н}^2 - v_{к}^2)}{i_{к} - \omega_{к}}, \quad \text{(II-46)}$$

где S — длина проверяемого участка профиля, имеющего подъем большей крутизны, чем на расчетном подъеме;

$v_{н}$, $v_{к}$ — скорость поезда соответственно в начале и конце проверяемого подъема;

$f_к - w_к$ — средняя удельная ускоряющая сила, действующая на поезд в пределах интервала скорости от $v_н$ до $v_к$.

Для повышения точности расчета интервалы изменения скорости берут в пределах 10 км/ч. Тогда

$$S < \Sigma S_i = \Sigma \frac{4,17\,(v_{нi}^2 - v_{кi}^2)}{(f_к - w_к)_i}, \qquad (II\text{-}47)$$

где $v_{нi}$, $v_{кi}$ — начальная и конечная скорости i-го интервала соответственно;

S_i — путь, проходимый поездом за время изменения скорости от $v_{нi}$ до $v_{кi}$.

При проверке любым способом вес состава считают установленным, если скорость в конце проверяемого подъема получилась равной или несколько больше расчетной для локомотива данной серии.

В отдельных случаях в зависимости от местных условий разрешается скорость выхода со скоростных подъемов принимать для электровозов постоянного тока — равной скорости при полном поле последовательно-параллельного соединения тяговых электродвигателей; электровозов переменного тока — равной скорости при нормальном поле на 21-й позиции электровозов ВЛ60, ВЛ60к, ВЛ80, ВЛ80к; тепловозов ТЭ3 и ТГ102 — 16 км/ч, ТЭ10 и 2ТЭ10Л — 20 км/ч.

Во всех случаях протяженность пути, проходимого с пониженной скоростью, не должна превышать 500 м. Отступление от этой величины допускается только с разрешения МПС при наличии резервов пропускной способности участка и соблюдении установленных норм по нагреву тяговых электродвигателей.

Расчет веса состава при условии движения с равномерной скоростью на расчетном подъеме. Если длина труднейшего на данном участке подъема, характер прилегающих к нему элементов профиля пути и расположение остановочных пунктов позволяют установить, что этот подъем не может быть преодолен с использованием кинетической энергии поезда, то такой подъем принимают за расчетный [9]. Вес состава определяют по формуле

$$Q = \frac{F_к - (w_0' + i_р)\,P}{w_0'' + i_р}. \qquad (II\text{-}48)$$

Проверка веса поезда на трогание с места. Рассчитанный по формулам (II-46), (II-47) и (II-48) вес грузового состава проверяют на трогание с места на остановочных пунктах по формуле

$$Q_{тр} = \frac{F_{ктр}}{w_{тр} + i_{тр}} - P. \qquad (II\text{-}49)$$

Значения $F_{ктр}$ для электровозов приведены в табл. II-9, а для тепловозов — в табл. II-10.

Удельное сопротивление состава при трогании с места (на площадке):

на подшипниках скольжения

$$w_{тр} = \frac{142}{q_0 + 7}; \qquad (II\text{-}50)$$

на подшипниках качения

$$w_{тр} = \frac{28}{q_0 + 7}. \qquad (II\text{-}51)$$

Рассчитанный по формулам (II-46), (II-47) и (II-48) вес состава должен быть меньше веса состава, полученного по формуле (II-49), т. е. $Q_{тр} > Q$.

Проверка веса поезда по длине приемо-отправочных путей. Длина поезда $l_п$ не должна превышать полезной длины приемо-отправочных путей $l_{пол}$ на участках обращения данного поезда (с учетом допуска 10 м на установку поезда):

$$l_п = l_с + l_л + 10, \qquad (II\text{-}52)$$

где $l_л$ — длина локомотива, м;

$l_с = \Sigma\, n_i\, l_i$ — длина состава, м;

l_i — длина вагонов по осям автосцепки, из которых сформирован состав, м;

$n_i = \dfrac{Q}{q_i}\,\alpha_i$ — количество однотипных вагонов в составе;

q_i — средний вес однотипной группы вагона (брутто), тс;

α_i — доля (по весу) состава группы однотипных вагонов.

Таблица II-9

Расчетные значения силы тяги электровозов при трогании с места

Серия электровозов	Передаточное число	Тип тягового двигателя	Расчетная сила тяги $F_{ктр}$, кгс	Ограничение
ВЛ22м	3,760	НБ-411	29 800	По току 430 А
ВЛ22м	4,450	ДПЭ-400	42 000	466 »
ВЛ22м	4,560	НБ-411	36 500	430 »
ВЛ23	3,905	НБ-406	42 300	550 »
ВЛ8	3,905	НБ-406	55 300	540 »
ВЛ10	3,826	ТЛ-2К1	54 000	650 »
ВЛ60	3,826	НБ-412М	49 700	
ВЛ60к, ВЛ60р	3,826	НБ-412К	49 700	По сцеплению
ВЛ80к	4,190	НБ-418К6	66 200	
ВЛ80к	4,630	НБ-414Б	66 200	
Ф	4,437	ТАО-649В1	49 700	

Таблица II-10

Расчетные значения силы тяги тепловозов при трогании с места

Серия тепловоза	Сила тяги $F_{ктр}$, кгс	Ограничение
ВМЭ1	18 500	По пусковому току
ТГМ3А	22 440	» сцеплению
ЧМЭ2	17 400	» пусковому току
ТЭ1	40 000	» сцеплению
ТЭМ1	37 200	» пусковому току
ТЭМ2	34 000	» сцеплению
ТЭ2 (две секции)	56 100	То же
ТГ102 (две секции) всех индексов	55 500	»
ТЭ3 (две секции)	58 200	По пусковому току
ТЭ3 (одна секция)	29 100	То же
ТЭ10	42 600	По сцеплению
2ТЭ10, 2ТЭ10Л	85 200	То же
ТЭП10 (ЭД-104А)	30 100	По пусковому току
ТЭП10, ТЭП10Л (ЭД-107)	34 000	То же
ТЭП60 (ЭД-105А)	22 500	»
ТЭП60 (ЭД-108)	21 900	»
ТЭП70	34 000	»
2ТЭП60 (ЭД-108)	43 800	»
ЧМЭ3	30 800	По сцеплению при $\psi = 0,25$
ЧМЭ3	36 900	По сцеплению при $\psi = 0,30$

Длина по автосцепкам подвижного состава, м, учитываемая при определении длины поезда:

Электровозы и электропоезда

1. Электровозы:

ВЛ22м, ВЛ22	16
ВЛ23, ЧС1, ЧС3	17
ВЛ8	28
ВЛ10	30
ВЛ60к	21
ВЛ80к	33
ЧС2, ЧС4	19

2. Вагоны электропоездов ЭР1, ЭР2, ЭР9 20

3. Моторные и прицепные вагоны электропоездов ЭР22 25

Тепловозы и дизель-поезда

4. ТЭ2	24
ТЭ3, ТЭ7, 2ТЭ10, 2ТЭ10Л	34
ТЭП10Л, ТЭ10, ТЭП10	19
ТЭП60	19
ТГ102	30
ЧМЭ2, ТГМ3А, ВМЭ1	13
ЧМЭ3	18

5. Моторные и прицепные вагоны дизель-поездов 25

Проверка веса поезда по пусковому ускорению. Вес поезда на возможность реализации заданного пускового ускорения при моторвагонной тяге проверяют по выражению:

$$a_п = \frac{9,81\,(F_п - W)}{1000\,(Q + P)\,(1 + \gamma)}\ \text{м/с}^2.$$

Если $a_п$ меньше заданного ускорения, то добавляют моторные вагоны с тем, чтобы значение $a_п$ было бы не меньше заданного.

Вес состава по заданному ускорению

$$Q = \frac{9,81\,(F_п - W)}{1000\,(1 + \gamma)\,a_п} - P.$$

Проверка веса необходима для раздельных пунктов, расположенных перед крутыми подъемами; при этом определяется предельный вес поезда, который можно остановить на данном раздельном пункте.

Приближенная проверка веса поезда по условию нагревания тяговых двигателей. Для ориентировочного определения веса поезда по условиям нагревания двигателей исходят из соотношения:

$$I_\infty = \kappa_{зап}\, I_{эф}.$$

Среднюю квадратичную нагрузку двигателя $I_{эф}$ определяют по среднему значению тока I двигателя как $I_{эф} = \kappa_{эф} I$ ($\kappa_{эф} = 1,2 \div 1,5$ для электровозов и $\kappa_{эф} = 1,5 \div 2,0$ для моторных вагонов).

Вес состава

$$Q = \frac{I_\infty\, n_п\, U_{ср}}{a'\, v \kappa_{зап}\, \kappa_{эф}}, \qquad (53)$$

где $U_{ср}$ — средняя величина напряжения в контактной сети;

$n_п$ — число параллельных цепей тяговых двигателей;

v — скорость движения, соответствующая средней нагрузке;

a' — удельный расход энергии без учета пусковых потерь в реостатах (в трансформаторе и преобразователях) и расхода на собственные нужды электровоза;

$\kappa_{зап}$ — коэффициент запаса, равный $1,1 \div 1,2$.

Окончательную проверку температуры нагрева тяговых двигателей производят

Таблица II-11

Расчетные значения силы тяги и скорости электровозов

Серия электровозов	Передаточное число	Тип тягового электродвигателя	Режим работы	Сила тяги $F_к$, кгс	Скорость, км/ч
ВЛ22м	3,76	НБ-411	П-ПП	27 200	43,1
ВЛ22м	4,45	ДПЭ-400	П-ОП1	34 300	36,8
ВЛ22м	4,56	НБ-411	П-ПП	33 000	35,5
ВЛ23	3,905	НБ-406	П-ОП1	34 900	43,3
ВЛ8	3,905	НБ-406	П-ОП1	46 500	43,3
ВЛ10	3,826	ТЛ-2К1	П-ОП1	46 400	48,0
ВЛ60к	3,826	НБ-412М	29пНП	36 600	42,8
ВЛ60к	3,826	НБ-412М	25пНП	37 250	36,7
ВЛ60к, ВЛ60р	3,826	НБ-412К	29пНП	36 500	44,0
ВЛ60к, ВЛ60р	3,826	НБ-412К	25пНП	37 200	37,5
ВЛ80к	4,63	НБ-414Б	29пНП	48 200	46,7
ВЛ80к	4,63	НБ-414Б	25пНП	49 400	39,7
ВЛ80к	4,19	НБ-418К6	29пНП	48 500	44,3
ВЛ80к	4,19	НБ-418К6	25пНП	49 600	38,0

Примечание. Для электровозов переменного тока применение меньших позиций нормального поля допускается в случае необходимости увеличения веса поезда.

в процессе выполнения тягового расчета при принятой весовой норме поезда.

Расчетные значения силы тяги и скорости электровозов. При расчете веса состава по формуле (II-48) значения расчетной скорости и силы тяги грузовых электровозов принимают по данным табл. II-11.

Таблица II-12

Расчетные значения силы тяги и скорости грузовых тепловозов

Тепловозы	Сила тяги $F_к$, кгс	Скорость $v_р$, км/ч
ТЭ2 (две секции)	21 800	17,0
ТГ102л (две секции)	37 300	20,0
ТГ102к (две секции)	35 700	20,0
ТЭ3 (две секции)	40 400	20,5
ТЭ3 (одна секция)	20 200	20,5
ТЭ10 (ЭД-104А)	27 000	23,0
ТЭ10 (ЭД-107)	25 600	24,0
2ТЭ10, 2ТЭ10Л (ЭД-104А)	54 000	23,0
2ТЭ10Л (ЭД 107)	51 200	24,0
ТЭП70	17 000	50,0

Примечание. В период действия ограничения использования мощности дизелей тепловоза ТГ102, установленного заводом и согласованного с МПС, расчетные значения силы тяги тепловоза принимают (по позиции рукоятки контроллера, соответствующей частоте вращения вала дизеля 1400 об/мин) при той же расчетной скорости: для ТГ102л $F_{кр}$=31 500 кгс, для ТГ102к $F_{кр}$=29 900 кгс.

Для пассажирских поездов, а также ускоренных грузовых и грузо-пассажирских поездов, следующих с пассажирскими электровозами, силу тяги и скорость на расчетном подъеме устанавливают в соответствии с весовой нормой таких поездов при равномерном движении. Для этого на тяговые характеристики электровоза наносят зависимость полного сопротивления движению поезда от скорости. Точка пересечения этой кривой с той тяговой характеристикой, которая дает максимально возможную скорость в пределах разрешенной скорости движения на данном уклоне, определяет значения скорости и силы тяги, а также режим работы электровоза на этом расчетном уклоне с поездом выбранного веса.

При трогании и разгоне поезда в пунктах, за которыми следует трудный подъем, выбранный по формуле (II-48) вес состава проверяют по увеличению скорости при значениях силы тяги электровозов, ограниченных штриховыми линиями на тяговых характеристиках, расположенных ниже ограничения силы тяги по сцеплению или по току.

Наименьшее значение силы тяги принимают по нижней штриховой кривой (см. рис. II-16 — II-17). Штриховые линии (верхняя и нижняя) определяют предельные значения силы тяги электровозов в процессе ступенчатого пуска.

Расчетные значения силы тяги и скорости тепловозов. При расчете веса состава грузовых поездов значения расчетной скорости и расчетной силы тяги тепловозов принимают по данным табл. II-12.

В тех случаях, когда для линий и участков, обслуживаемых тепловозами ТЭ3 (двухсекционными), необходимо увеличение провозной способности, разрешается принимать расчетную скорость $v_р$ = 19 км/ч и соответственно силу тяги $F_к$=43 200 кгс с последующей проверкой генератора на нагревание.

Для пассажирских поездов, а также ускоренных грузовых и грузо-пассажирских поездов, обслуживаемых пассажирскими тепловозами, скорости на расчетных подъемах определяют в соответствии с принятой весовой нормой составов этих поездов, устанавливаемой МПС.

Вес состава для маневровых тепловозов серий ВМЭ1, ТГМ3А, ЧМЭ2, ТЭ1 и ТЭМ1 при их работе на магистральных линиях определяют из условия обеспечения

скорости движения на труднейших участках профиля пути, гарантирующей соблюдение графика движения поездов. Минимальная расчетная скорость тепловоза ТЭМ2 составляет 11,5 км/ч, а ЧМЭ3 — 11,4 км/ч. Все последующие расчеты при этом ведутся для 13-й позиции рукоятки контроллера.

В зонах переходов с одного режима работы тепловоза на другой расчетные значения силы тяги для построения диаграммы ускоряющих сил принимают как средние между величинами силы тяги при обоих режимах.

Учет изменения силы тяги тепловозов в зависимости от атмосферных условий. Расчетную силу тяги при атмосферных условиях, отличающихся от стандартных ($t_{нв}$ = 20° С — температура наружного воздуха; $h_{бар}$ = 760 мм рт. ст. — барометрическое давление), определяют по формуле

$$F_к = F_{к0}(1 - \kappa_t - \kappa_P),$$

где $F_{к0}$ — сила тяги при стандартных атмосферных условиях;

κ_t — коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения температуры наружного воздуха;

κ_P — коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения атмосферного давления.

Численные значения коэффициентов κ_t и $\kappa_р$ приведены в табл. II-13 и II-14.

Расчетные атмосферные условия для летнего и зимнего графиков устанавливаются для каждого участка управлением дороги на основе метеорологических данных прошлых лет.

Сила тяги при кратной тяге и подталкивании. При кратной тяге силу тяги локомотивов принимают равной 100% расчетной. Величину $F_к$ подталкивающих локомотивов (в хвосте поезда) также принимают

Таблица II-13

Значения коэффициента κ_t в зависимости от температуры наружного воздуха

Тип дизеля	Тепловозы	κ_t при $t_{нв}$, °С		
		20	30	40
2Д100, 10Д100	ТЭ3, ТЭ7 ТЭ1, ТЭ2, ТЭ10 1ТЭ10Л, ТЭП10	0	0,045	0,090
11Д45, Д50	ТЭП10Л, ТЭП60, 2ТЭП60	0	0,050	0,100
Д49[1]	2ТЭ116	0	0,008	0,016
2Д50	ТЭМ1	0	0,030	0,060
Д70	2ТЭ116М	0	0,013	0,026
М756А, М753	ТГМ3А, ТГ102[2]	0	0,017	0,034
ПДГ-1М	ТЭМ2[3]	0	0,027	0,054

[1] Повышение температуры наружного воздуха на 1° С дает снижение мощности дизеля на 2,5 л. с.
Мощность дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭ3 при температуре наружного воздуха +30 С и выше снижается до 1210 л. с. Номинальная мощность 1350 л. с.
[2] Номинальная мощность дизеля 820 л. с.
[3] Номинальная мощность дизеля 737 кВт.

равной 100% расчетной. На участках со сложным профилем и планом пути величину $F_к$ подталкивающего локомотива принимают из условия безопасности движения.

Точность расчета веса состава определяется разницей расчетных и действительных значений силы сцепления и сопротивления движению.

Эта разница эквивалентна изменению веса состава на величину

$$\Delta Q = \frac{1}{w_0' + i_р + w_к}\,[1000\,P_{сц}\,\Delta\psi - P_{сц}\,\Delta w_0' - Q\Delta w_0'' - (P_{сц} + Q)(\Delta i_р + \Delta w_к)],$$

Таблица II-14

Значения коэффициента $\kappa_р$ в зависимости от атмосферного давления

Тип дизеля	Тепловозы	$\kappa_р$ при $h_{бар}$, мм рт. ст.				
		680	700	720	740	760
2Д100, 10Д100	ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10, 2ТЭ10Л	0,105	0,078	0,051	0,025	0
11Д45, Д50	ТЭП10, ТЭП10Л, ТЭП60, 2ТЭП60, ТЭ1, ТЭ2	0,115	0,086	0,057	0,028	0
Д49[1*]	2ТЭ116	—	—	0,005[2*]	0,003	0
2Д50	ТЭМ1	0,061	0,046	0,030	0,015	0
Д70	2ТЭ116М	0,018	0,010	0,009	0,005	0
М756А	ТГ102[3*]	0,035	0,026	0,017	0,009	0
М753	ТГМ3А	0,045	0,034	0,022	0,011	0
ПДГ-1М	ТЭМ2[4*]	0,071	0,050	0,032	0,016	0

[1*] Снижение атмосферного давления на 1 мм рт. ст. дает снижение мощности на 0,5 л. с.
[2*] При 730 мм рт. ст.
[3*] Номинальная мощность дизеля 820 л. с.
[4*] Номинальная мощность дизеля 737 кВт.

где $\Delta\psi$ — приращение коэффициента сцепления;

$\Delta w_0'$, Δw_0 — приращение удельного основного сопротивления движению локомотива и вагонов;

$\Delta i_р$ — приращение крутизны руководящего подъема;

$\Delta w_к$ — приращение удельного сопротивления движению от кривых.

Приращения (ошибки) $\Delta\psi$, $\Delta w_0'$ и $\Delta w_0''$ зависят от точности задания скорости; приращения $\Delta i_р$, $\Delta w_к$ — от точности определения и учета удельных сил.

При выполнении тяговых расчетов принимают (согласно ПТР для поездной работы) следующие единицы измерения и округления величин: расстояния (в км) с одним знаком после запятой — для перегонов, в целых метрах — для элементов профиля; уклоны — в тысячных с одним знаком после запятой; силу тяги, силы сопротивления и тормозные силы — с округлением до 50 кгс; удельные силы — в кгс/тс с двумя знаками после запятой; ток — с округлением до 5 А; скорость в км/ч — с одним знаком после запятой; вес грузового состава — с округлением до 50 тс, пассажирского — до 25 тс; расход топлива — с округлением до 10 кг; расход электроэнергии — с округлением до 10 кВт · ч; удельный расход топлива — до 0,1 кг/10^3 ткм с одним знаком после запятой; удельный расход электроэнергии — в кВт/ткм с одним знаком после запятой; перегонное время хода — расчетное до 0,1 мин, для графика движения поездов — с округлением до 1 мин (пригородная зона — до 0,25 мин); температуру — до 0,01° С при расчете ее по отдельным перегонам с округлением результатов до 1° С.

Одинаковое влияние точности задания скорости и удельных сил в расчете веса состава достигается в тех случаях, когда скорость измеряют в км/ч с одним, а удельные силы в кгс/тс — с двумя знаками после запятой.

Для повышения точности расчета весовой нормы округляют величину удельного основного сопротивления состава в бо́льшую сторону, если округление величины уклона сделано в меньшую сторону и, наоборот, если w_0 округляют с недостатком, то $i_р$ следует округлять с превышением.

II-7. ПРОВЕРКА НАГРЕВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЯГОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ ПОЕЗДА НА ЛИНИИ

Основные положения. При тяговых расчетах проверяют нагревание тяговых двигателей, а у тепловозов, кроме того, нагревание главного генератора, у электроподвижного состава переменного тока — нагревание трансформаторов и преобразователей.

Вследствие переменной нагрузки тягового двигателя в эксплуатации его пригодность характеризуют не только номинальной длительной мощностью, но и номинальной кратковременной мощностью, которую двигатель может выдержать по нагреванию в течение обусловленного времени (ГОСТ 2582—72).

При температуре окружающего воздуха $\theta_в$, отличной от $+25°$ С, допустимое превышение температуры нагрева определяют как $\tau_{доп} = \tau_н + 25 - \theta_в$, а для машин, расположенных в кузове, $\tau_{доп} = \tau_н + 35 - \theta_в$.

Превышение температуры нагрева двигателя над температурой окружающей среды, считая двигатель однородным твердым телом, определяют по формуле

$$\tau = \tau_\infty\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}, \qquad (II\text{-}54)$$

$$\tau_\infty = \frac{\Delta P}{B_\theta}; \qquad (II\text{-}55)$$

$$T = \frac{C_\theta}{B_\theta}, \qquad (II\text{-}56)$$

где τ_∞ — установившееся превышение температуры нагрева двигателя при данном режиме над температурой окружающей среды;

T — тепловая постоянная времени двигателя;

τ_0 — начальное значение превышения температуры двигателя над температурой окружающей среды;

t — время работы при данном режиме;

ΔP — мощность потерь в двигателе, Вт;

B_θ — теплоотдача двигателя, Вт/°С;

C_θ — теплоемкость двигателя, Вт · мин/°С.

Увеличение теплоотдачи при неизменных потерях ΔP ведет к уменьшению температуры нагрева тягового двигателя за счет снижения τ_∞.

Теплоемкость двигателя не влияет на установившееся превышение температуры. Она определяет скорость нарастания температуры: чем больше теплоемкость двигателя, тем медленнее он нагревается (при неизменной теплоотдаче постоянная времени T возрастает).

В начальный момент нагревания (в области, близкой к $\tau_0 = 0$) при данных потерях ΔP скорость нарастания перегрева зависит от теплоемкости:

$$\left(\frac{d\tau}{dt}\right)_{t=0} = \frac{\Delta P}{C_\theta}. \qquad (II\text{-}57)$$

Тепловые параметры. Для расчета нагревания электрооборудования необходимо знать значения тепловых параметров C_θ, B_θ, T.

Теплоемкость

$$C_\theta = \Delta P / \left(\frac{d\tau}{dt}\right)_{t=0}. \qquad (II\text{-}58)$$

Предварительно должна быть известна мощность потерь ΔP, которую в тяговых двигателях постоянного тока определяют как $\Delta P = UI(1 - \eta)$; в однофазных электрических машинах — в виде $\Delta P = UI(1 - \eta)\cos\varphi$; в трехфазных как $\Delta P = 1{,}73\, UI(1 - \eta)\cos\varphi$.

Тангенс угла наклона касательной в начальной части кривой нагревания, которую снимают экспериментальным путем на стенде, в соответствующем масштабе представляет значение $(d\tau/dt)_{t=0}$. Постоянную времени T определяют по экспериментальной кривой $\tau(t)$ как подкасательную (в масштабе времени) в любой точке. Значение τ_∞ находят по кривой нагревания, полагая время равным $(4 \div 5)\,T$.

Когда известна только часть кривой нагревания, тепловые параметры находят, используя τ_0 и два соседних значения τ_1 и τ_2, снятые через равные промежутки времени Δt:

$$T = \frac{\Delta t}{\ln\dfrac{\tau_1 - \tau_0}{\tau_2 - \tau_1}}; \qquad \tau_\infty = \frac{\tau_1^2 - \tau_0\tau_2}{2\tau_1 - \tau_0 - \tau_2}.$$

Теплоотдачу B_θ определяют по формуле (II-55) при найденных значениях τ_∞ и ΔP.

Для приближения результатов расчетов к действительным температурам пользуются приведенными тепловыми параметрами: $B_{пр}$, $C_{пр}$ и $\Delta P_{пр}$.

Приведенные потери мощности

$$\Delta P_{пр} = I^2 r_a + \kappa_c \Delta P_c,$$

где ΔP_c — потери в стали, включая дополнительные потери;

κ_c — опытный коэффициент, учитывающий влияние потерь в стали ΔP_c на нагрев обмотки якоря;

$r_a = r_0(1 + \alpha_0\tau)$ — сопротивление обмотки якоря.

Эквивалентные потери мощности

$$\Delta P_э = I^2 r_0 + \kappa_c \Delta P_c.$$

Эквивалентная теплоотдача

$$B_э = B_{пр} - I^2 r_0 \alpha_\theta, \qquad (II\text{-}59)$$

где $B_{пр}$ — приведенная теплоотдача.

Эквивалентная постоянная времени T и установившееся превышение температуры τ_∞:

$$T_э = \frac{C_{пр}}{B_э} = \frac{C_{пр}}{B_{пр} - I^2 r_0 \alpha_\theta};$$

$$\tau_\infty = \frac{\Delta P_э}{B_э} = \frac{I^2 r_0 + \kappa_c \Delta P_c}{B_{пр} - I^2 r_0 \alpha_\theta},$$

где $C_{пр}$ — приведенная теплоемкость.

Уравнение нагревания тела, эквивалентного тяговому двигателю, —

$$\tau = \tau_\infty\left(1 - e^{-\frac{t}{T_э}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T_э}}.$$

При выбеге $I = 0$; $\tau_\infty = 0$, постоянная времени равна приведенному значению $T_{пр}$ и уравнение охлаждения двигателя принимает вид:

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{t}{T_{пр}}}. \qquad (II\text{-}60)$$

Тепловые характеристики, представляющие собой зависимости $\tau_\infty(I)$ и $T_э(I)$, обычно определяют на основании снятых опытным путем кривых нагревания и охлаждения для различных нагрузок двигателя. При отсутствии таких кривых тепловые характеристики получают расчетным путем. Исходными данными служат номинальные значения параметров и характеристики двигателя; значения тока $I_{\infty 1}$, скорость $v_{\infty 1}$, к. п. д. $\eta_{\infty 1}$ для напряжения U_1 меньше номинального; зависимость эквивалентных потерь от нагрузки; допустимые по нормам нагревания значения температуры нагрева при длительном режиме $\tau_{\infty н}$ и часовом $\tau_{чн}$; значение κ_c (ориентировочно $\kappa_c \approx 0{,}4$).

Сначала находят эквивалентные и приведенные значения теплоотдачи для режимов длительной мощности при напряжениях $U_н$ и U_1, т. е. при скоростях $v_{\infty н}$ и $v_{\infty 1}$ соответственно.

Для номинального напряжения $U_н$:

$$B_{э\infty н} = \frac{\Delta P_{э\infty н}}{\tau_{\infty н}}; \quad B_{\infty н} = B_{э\infty н} + I_{\infty н}^2 r_0 \alpha_0.$$

Значение $\Delta P_{э\infty н}$ определяют по кривой $\Delta P_э(I)$ для значения тока $I_{\infty н}$.

Соответственно для напряжения U_1:

$$B_{э\infty 1} = \frac{\Delta P_{э\infty 1}}{\tau_{\infty н}}; \quad B_{\infty 1} = B_{э\infty 1} + I_{\infty 1}^2 r_0 \alpha_0.$$

По двум найденным значениям теплоотдачи $B_{э\infty 1}$ и $B_{э\infty н}$ и соответствующим им скоростям $v_{\infty 1}$ и $v_{\infty н}$ строят линейную зависимость $B_{пр}(v)$. Далее, пользуясь скоростной характеристикой двигателя $v(I)$, перестраивают кривую $B_{пр}(v)$ в функции нагрузки двигателя. Затем рассчитывают значения установившегося превышения температуры нагрева двигателя τ_∞ над температурой окружающей среды в функции нагрузки, а по формуле (II-59) рассчитывают зависимость $B_э(I)$, которую используют для расчета $T_э(I)$.

Для определения $T_э(I)$ вычисляют значение эквивалентной постоянной времени $T_{эч}$ для часовой мощности ($t = 60$ мин, $\tau_0 = 0$ и $\tau = \tau_{чн}$):

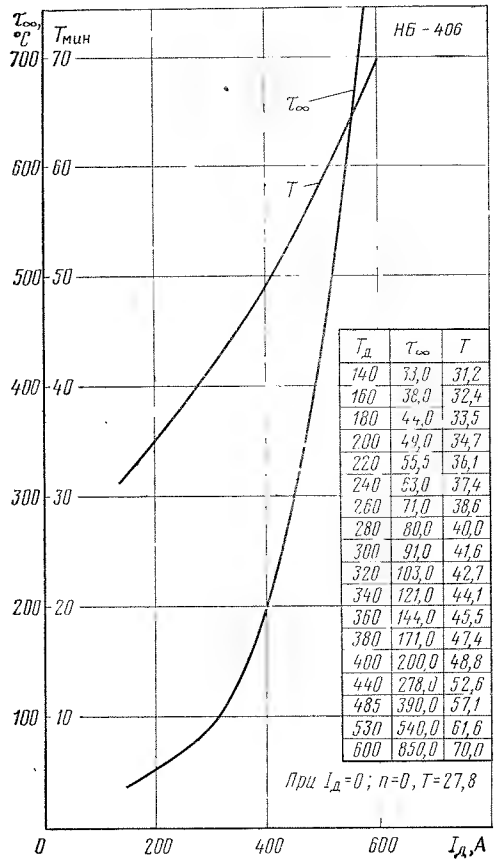
$$T_{эч} = \frac{60}{\ln\left(\dfrac{\tau_{\infty ч}}{\tau_{\infty ч} - \tau_{чн}}\right)} \text{ мин.}$$

Приведенную теплоемкость определяют как $C_{пр} = T_{эч} B_{эч}$ Вт · мин/°С.

Тогда

$$T_э = \frac{C_{пр}}{B_э}.$$

Затем по точкам строят зависимость $T_э(I)$.



$I_д$	τ_∞	T
140	33,0	31,2
160	38,0	32,4
180	44,0	33,5
200	49,0	34,7
220	55,5	36,1
240	63,0	37,4
260	71,0	38,6
280	80,0	40,0
300	91,0	41,6
320	103,0	42,7
340	121,0	44,1
360	144,0	45,5
380	171,0	47,4
400	200,0	48,8
440	278,0	52,6
485	390,0	57,1
530	540,0	61,6
600	850,0	70,0

Рис. II-62. Тепловые характеристики обмотки якоря тягового двигателя НБ-406 электровозов ВЛ23 и ВЛ8

При движении без тока приведенную теплоемкость делят не на $B_э$, а на $B_{пр}$.

На рис. II-62 — II-65 представлены зависимости $\tau_\infty(I)$ и $T_э(I)$ тяговых двигателей электровозов и тепловозов, а на рис. II-66 — главного генератора тепловозов ТЭ3 и ТЭ7.

Приведенная выше последовательность определения тепловых параметров и тепловых характеристик справедлива для всех типов тяговых двигателей как постоянного тока, так и работающих на пульсирующем напряжении, а также для машин преобразовательных агрегатов и силовых трансформаторов электроподвижного состава переменного тока.

Расчет нагревания тягового электрооборудования при движении поезда по линии. *Аналитический метод.* Исходными материалами являются кривые движения, график потребления тока и тепловые характеристики $\tau_\infty(I)$, $T_э(I)$ и $T_{пр}(I)$. Уравнение нагревания представляют в конечных интервалах Δt_i, соответствующих постоянным времени T_i при данной нагрузке I_i.

Последовательным интервалам времени Δt_1, Δt_2, ..., Δt_n соответствуют значения эквивалентной постоянной $T_{э1}$, $T_{э2}$, ..., $T_{эn}$ и установившегося превышения температуры $\tau_{\infty 1}$, $\tau_{\infty 2}$, ..., $\tau_{\infty n}$.

Интервалы времени устанавливают по кривым движения, выбирая их так, чтобы в пределах каждого интервала ток и скорость можно было считать без больших погрешностей постоянными и равными их средним значениям.

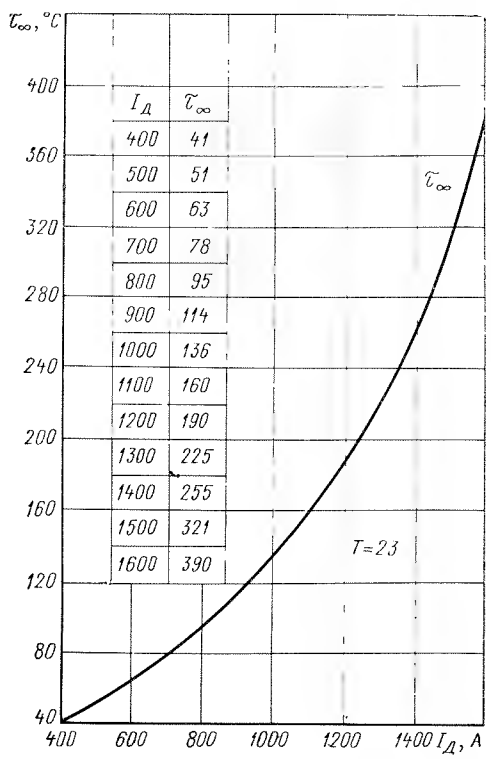
Температура нагрева в конце i-го интервала времени есть начальная на интервале $i+1$:

$$\tau_{i+1} = \tau_{\infty(i+1)}\left(1 - e^{-\frac{\Delta t_{i+1}}{T_{э(i+1)}}}\right) + \tau_i e^{-\frac{\Delta t_{i+1}}{T_{э(i+1)}}}.$$

По истечении времени $t = \sum_1^n \Delta t_i$ получим

$$\tau_n = \tau_{\infty n}\left(1 - e^{-\frac{\Delta t_n}{T_{эn}}}\right) + \tau_{n-1} e^{-\frac{\Delta t_n}{T_{эn}}}.$$

Вычисления температуры существенно упрощаются при условии, что $\frac{\Delta t}{T} < 0{,}1$: вместо использования таблиц показатель-



$I_д$	τ_∞
400	41
500	51
600	63
700	78
800	95
900	114
1000	136
1100	160
1200	190
1300	225
1400	255
1500	321
1600	390

Рис. II-63. Тепловые характеристики обмотки якоря тягового двигателя AL-4442пР электровоза ЧС4

ной функции пользуются приближенным разложением этой функции в ряд:

$$\tau = \tau_\infty \frac{\Delta t}{T_э} + \tau_\infty\left(1 - \frac{\Delta t}{T_э}\right) = (\tau_\infty - \tau_0)\frac{\Delta t}{T_э} + \tau_0 \qquad (II\text{-}61)$$

и

$$\tau = \tau_0\left(1 - \frac{\Delta t}{T_{пр}}\right). \qquad (II\text{-}62)$$

При выполнении за рабочий день нескольких рейсов с повторяющимися нагрузками (метрополитен, пригородное движение) температуру нагрева двигателя за время работы можно рассчитать, исходя из начального превышения температуры τ_0 и превышения температуры нагрева $\tau_р$ только в течение первого рейса.

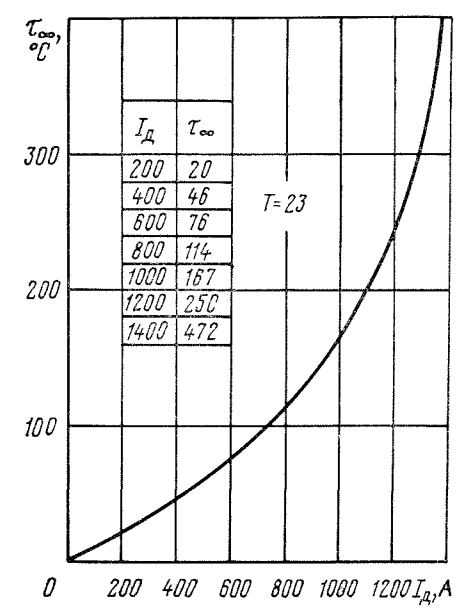
Превышение температуры в конце n-го рейса

$$\Theta_n = \tau_р \frac{1 - e^{-n\sum_1^m \frac{\Delta t}{T}}}{1 - e^{-\sum_1^m \frac{\Delta t}{T}}} + \tau_0 e^{-n\sum_1^m \frac{\Delta t}{T}},$$

где n — число рейсов;

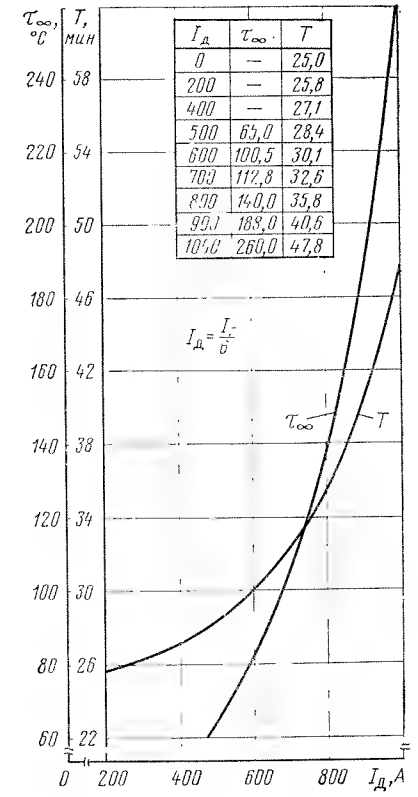
m — число интервалов времени, на которые разбит рейс.

Установившаяся температура нагрева практически достигается, когда $\tau_i \approx \tau_{i+1}$, т. е. температура в конце двух следующих друг за другом рейсов отличается незначительно.



$I_д$	τ_∞
200	20
400	46
600	76
800	114
1000	167
1200	250
1400	472

Рис. II-64. Тепловые характеристики обмотки якоря тягового электродвигателя НБ-418К электровоза ВЛ80к при расходе воздуха $Q_в = 110$ м³/мин



$I_д$	τ_∞	T
0	—	25,0
200	—	25,8
400	—	27,1
500	65,0	28,4
600	100,5	30,1
700	112,8	32,6
800	140,0	35,8
900	188,0	40,6
1000	260,0	47,8

Рис. II-65. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭД-107 тепловозов ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭП10, ТЭП10Л и тягового электродвигателя ЭД-108 тепловозов ТЭП60, 2ТЭП60

При этом установившаяся температура нагрева (если $n = \infty$)

$$\Theta_{max} = \frac{\tau_р}{1 - e^{-\sum_1^m \frac{\Delta t}{T}}}.$$

Способ среднего квадратичного тока. Упрощенную проверку пригодности тягового двигателя по температуре его нагрева осуществляют в предположении, что полные потери пропорциональны квадрату тока $\Delta P_{ср} = I_{эф}^2 r$ и превышение температуры обмоток двигателя над температурой окружающей среды

$$\tau = \frac{I_{эф}^2}{B_{ср}},$$

где $B_{ср}$ — средняя теплоотдача двигателя при работе на линии.

Превышение температуры τ не должно быть больше допустимого по нормам:

$$\tau_н = \frac{I_\infty^2 r}{B_\infty}.$$

Условие пригодности двигателя

$$\frac{I_{эф}^2 r}{B_{ср}} < \frac{I_\infty^2 r}{B_\infty} \text{ или } I_{эф}^2 < I_\infty^2 \frac{B_{ср}}{B_\infty}.$$

С учетом запаса по температуре считают

$$I_{эф}^2 < \frac{I_\infty^2}{\kappa_н \kappa_в \kappa_\theta \kappa_{зап}},$$

где $\kappa_н$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузок между двигателями (для двигателей с мягкими характеристиками ориентировочно $\kappa_н = 1{,}05 \div 1{,}15$; с жесткими характеристиками — $k_н = 1{,}2 \div 1{,}25$);

$\kappa_в = \frac{B_\infty}{B_{ср}}$ — для двигателей с самовентиляцией $\kappa_в = 1{,}1 \div 1{,}15$; при независимой вентиляции $\kappa_в \approx \approx 1$;

κ_θ — коэффициент, учитывающий разницу между действительной температурой окружающего воздуха и температурой $+25°$ С, относительно которой нормированы допустимые температуры нагрева двигателя;

$\kappa_{зап}$ — коэффициент запаса, учитывающий возможные перегрузки двигателя на отдельных элементах профиля, при пусках и т. п. В среднем $\kappa_{зап} = 1{,}15 \div \div 1{,}25$.

Графический расчет по характеристикам нагревания. При наличии кривых нагревания и охлаждения тягового двигателя его температуру определяют, используя кривые $I(S)$ и $t(S)$. С этой целью кривую времени разбивают на интервалы и для каждого из них подсчитывают среднее значение тока. Затем находят соответствующую первому среднему значению тока кривую нагревания, откладывают от начальной температуры по оси абсцисс длительность первого интервала и определяют по кривой $\tau(t)$ конечную температуру на этом интервале. Температура, соответствующая концу этого интервала, является начальной для следующего интервала и т. д.

Если в течение некоторого времени двигатель работает на выбеге ($I = 0$), переходят, начиная с момента начала этого интервала, на кривую охлаждения.

Если для данного значения тока на сетке кривых нет кривой нагревания, пользуются методом интерполяции.

На рис. II-67 приведены кривые нагревания и охлаждения якоря тягового двигателя НБ-406; на рис. II-68 — якоря главного генератора тепловозов ТЭ3 и ТЭ7.

Суммируя превышение температуры обмоток двигателя с температурой наружного воздуха, находят температуру нагрева его обмоток. Наибольшая допускаемая температура нагрева обмоток тяговых двигателей не должна превышать указанной в ГОСТ 2582—72.

Приближенно превышение температуры нагрева обмоток тяговых двигателей над температурой окружающей среды находят как

$$\tau = \tau_\infty \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right). \quad \text{(II-63)}$$

Температуру остывания находят по формуле

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right). \quad \text{(II-64)}$$

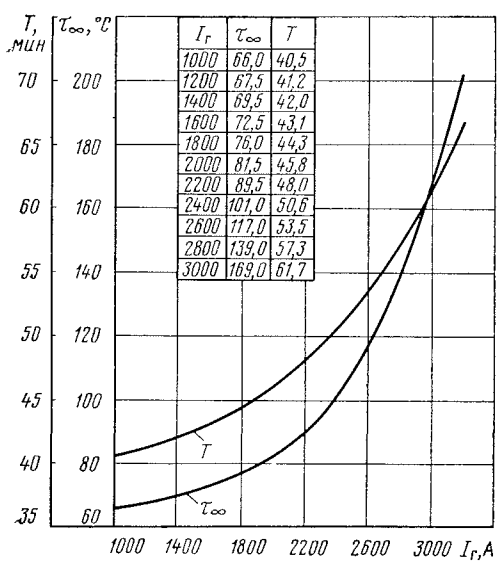
При этом принимают $\frac{\Delta t}{T} < 0{,}1$.

Значения тепловых параметров T и τ_∞ определяют по кривым рис. II-63 — II-66.

При пониженном напряжении расчет производится так же, как и при номинальном напряжении.

Особенности расчета нагревания электрических машин тепловозов. Нагревание электрических машин тепловозов проверяют только в том случае, когда снижение скорости по сравнению с длительным режимом осуществляется на расстоянии более 500 м (см. стр. 74). Температуру нагрева обмоток тяговых двигателей и генератора тепловоза определяют как сумму превышения температуры нагрева обмоток над температурой окружающей среды и температуры охлаждающего воздуха.

У тепловозов ТЭМ1, ТЭ2, ТЭ3 и ТЭ7 проверяют нагревание главного генератора, у тепловозов ТЭ10, ТЭП10 и ТЭП60 — тяговых двигателей. Температуру охлаждающего воздуха $t_{ген}$ главного генератора



$I_г$	τ_∞	T
1000	66,0	40,5
1200	67,5	41,2
1400	69,5	42,0
1600	72,5	43,1
1800	76,0	44,3
2000	81,5	45,8
2200	89,5	48,0
2400	101,0	50,6
2600	117,0	53,5
2800	139,0	57,3
3000	169,0	61,7

Рис. II-66. Тепловые характеристики главного генератора тепловозов ТЭ3, ТЭ7 с нормальным и глубоким ослаблением поля

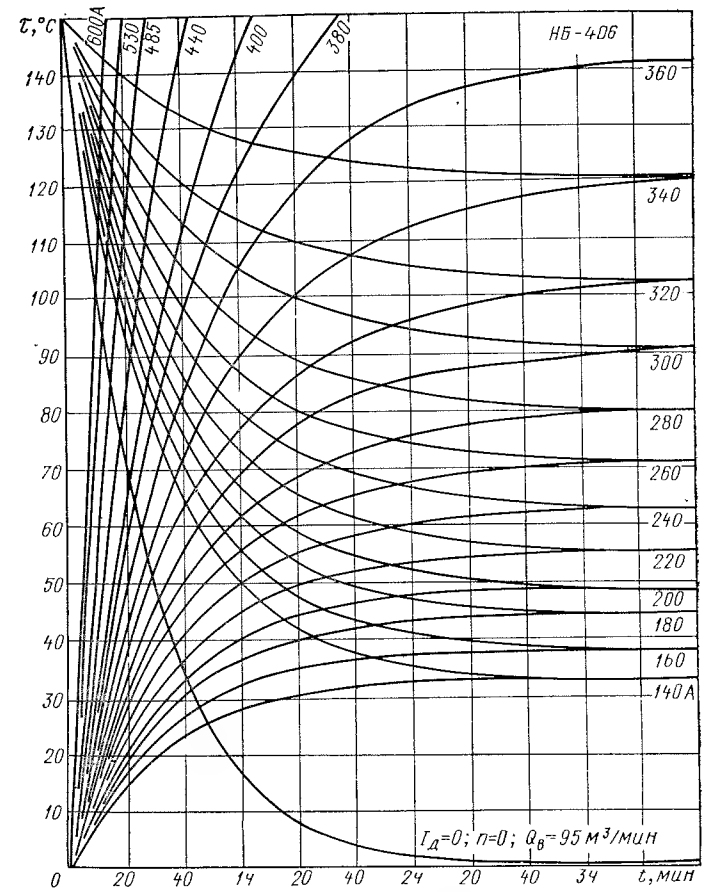


Рис. II-67. Кривые нагревания и охлаждения обмотки якоря тягового двигателя НБ-406 при $Q_в = 95$ м³/мин

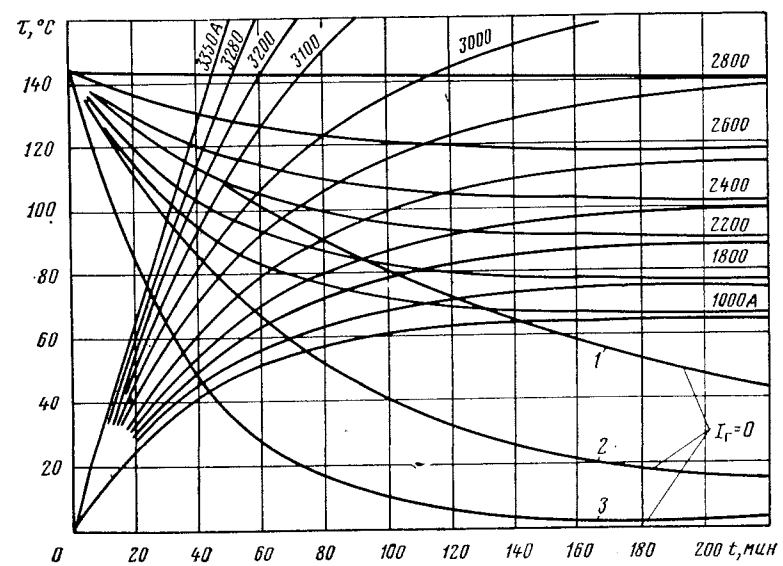


Рис. II-68. Кривые нагревания и охлаждения обмотки якоря главного генератора тепловозов ТЭ3 и ТЭ7:

1 — $n_д = 0$; 2 — $n_д = 610$ об/мин (8-я позиция); 3 — $n_д = 850$ об/мин (16-позиция)

тепловоза ТЭ2 принимают согласно следующим данным:

$\theta_в$, °C . . .	15	20	25	30	35	40	45
$t_{ген}$, °C . . .	20	29	35	42	48	55	63

Температуру охлаждающего воздуха главного генератора тепловозов остальных серий принимают равной температуре наружного воздуха.

Расчетную температуру наружного воздуха принимают по данным метеорологических станций как среднюю многолетнюю (не менее пяти лет) по замерам в 7,13 и 19 ч местного времени за июнь, июль, август:

$$t_{нв} = \frac{t_7 + 2t_{13} + t_{19}}{4}.$$

Температуру $t_{нв}$ принимают не ниже +15° С.

После длительной стоянки (более 2 ч) начальную температуру нагрева тяговых двигателей электровозов и тепловозов, а также температуру нагрева генератора тепловозов принимают равной +15° С.

При меньших по длительности стоянках температуру нагрева электрооборудования определяют в момент прибытия с учетом снижения ее за время стоянки, используя для этой цели кривую охлаждения электрических машин данного типа.

При включенных мотор-вентиляторах постоянные времени нагревания электрооборудования электроподвижного состава принимают в соответствии с рис. II-62 — II-64 и тепловозов — рис. II-65 и II-66; при выключенных мотор-вентиляторах постоянные времени нагревания принимают втрое больше, чем для номинального тока двигателя

II-8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЩНОСТИ ЛОКОМОТИВОВ

Условия, определяющие использование мощности локомотивов. На участке данного профиля степень использования мощности локомотива определяется значениями скоростей, в пределах которых может быть реализована его мощность. Эти пределы зависят от ряда условий: соответствия эксплуатационных возможностей локомотивов техническому состоянию участка (наличие автоблокировки, диспетчерской централизации, ограничения скоростей движения, состояние пути, развитие станций и т. п.); организации движения поездов; соответствия технического состояния локомотива его расчетным данным и характеристикам; квалификации локомотивной бригады.

Поэтому данные только о мощности локомотива не полностью характеризуют эффективность его использования в конкретных условиях: два локомотива одинаковой мощности, но с различными тяговыми характеристиками могут иметь на одном и том же профиле пути разные показатели использования.

Для повышения использования мощности на современных локомотивах применяют плавное регулирование поля возбуждения тяговых двигателей, удобное тем, что оно позволяет менять режим работы локомотива применительно к элементам профиля. На ранее выпущенных локомотивах для этих целей используют ступенчатое регулирование поля возбуждения тяговых двигателей, а в необходимых случаях — изменение передаточного числа тяговой передачи (путем перепрессовки зубчатой передачи или с помощью специального привода на мономоторных тележках).

Использование мощности локомотива во многом определяется принятым весом состава, устанавливаемым исходя из ограничения сцепления колес локомотива с рельсами или нагревания тяговых двигателей и электрооборудования, а у тепловозов еще и по мощности дизеля.

Использование силы сцепления колес локомотива с рельсами в значительной степени зависит от жесткости характеристики тяговых двигателей: при более жестких характеристиках быстрее восстанавливается нормальное качение колес по рельсам после срыва сцепления, чем при мягких, благодаря чему при жестких характеристиках достигается более высокое использование сцепления. Поэтому независимое возбуждение тяговых двигателей находит широкое применение на железных дорогах холмистого профиля, когда требуется кратковременное увеличение силы сцепления. Схема соединения двигателей также оказывает влияние на использование сцепления: при последовательном соединении двигателей пробоксовка отдельной оси локомотива вызывает резкое снижение нагрузок и силы тяги остальных двигателей. При параллельном соединении двигателей такого явления не происходит и достигается более высокое использование сцепления, характерное для электровозов однофазно-постоянного тока.

Влияние расхождения характеристик тяговых двигателей и диаметров колес локомотива. В процессе изготовления тяговых двигателей, а также при ремонте их неизбежны некоторые отступления от номинальных значений параметров, определяющих тяговые свойства двигателей (различия в магнитном сопротивлении участков магнитопровода, омическом сопротивлении элементов цепи, неравномерность распределения токов между двигателями из-за разницы в диаметрах колес локомотива и т. п.).

Вследствие этого между последовательно включенными тяговыми двигателями перераспределяются напряжение, мощность и сила тяги. Более быстроходные двигатели будут более нагружены, тихоходные — менее нагружены. Параллельно работающие двигатели оказываются нагруженными неравномерно: ток более быстроходного двигателя раньше достигнет максимального допустимого значения, остальные, более тихоходные, окажутся недогруженными.

Сила тяги такого локомотива

$$F = F_{д1} + F_{д2} + \ldots + F_{дN} = \sum_{1}^{N} F_{дi} < F_д N,$$

вследствие чего снижается использование мощности локомотива.

Возникающая разница в токах ΔI параллельно включенных двигателей (рис. II-69), отнесенная к номинальному току двигателя,

$$\Delta I_0 = \frac{\bar{v}}{\bar{I}} \left| \frac{1}{\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{I}}} \right| \Delta v_0,$$

где $\Delta v_0 = \frac{\Delta v}{\bar{v}}$ — относительная разность линейных скоростей колесных пар.

Разница в силах тяги колесных пар локомотива, отнесенная к номинальной величине силы тяги $\bar{F}$ колесной пары,

$$\Delta F_0 = \sqrt{\Delta \Phi_0^2 + \frac{\bar{v}^2}{\bar{I}^2} \left| \frac{1}{\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{I}}} \right|^2 \Delta v_0^2},$$

где $\Delta \Phi_0$ — относительная разница магнитных потоков тяговых двигателей.

Недоиспользование мощности локомотива, обусловленное неравенством сил тяги колесных пар, особенно ощутимо в режимах ослабленного поля при больших нагрузках. При расхождении скоростных характеристик тяговых двигателей

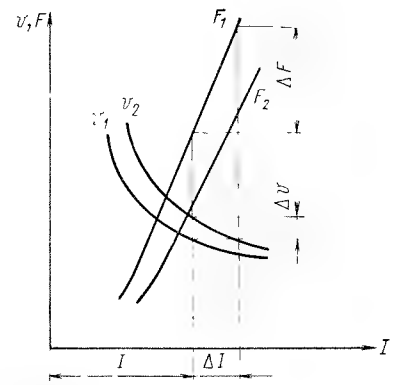


Рис. II-69. Разница в нагрузках и силах тяги параллельно включенных тяговых двигателей при расхождении их скоростных характеристик

постоянного тока в ±3% разница в силах тяги осей при часовом режиме достигает 15 — 16%.

Уменьшение разброса характеристик тяговых двигателей может быть осуществлено стабилизацией технологического процесса их изготовления (или ремонта), устройства в схемах локомотива уравнительных соединений, обеспечивающих равенство потенциалов на каждой паре параллельно включенных тяговых двигателей и, в известной мере, путем подбора диаметров колесных пар электровоза по характеристикам тяговых двигателей.

В режиме рекуперативного торможения на электровозах постоянного тока по схеме со стабилизирующими резисторами различие в тормозных характеристиках существенно зависит от отклонений параметров цепи возбуждения.

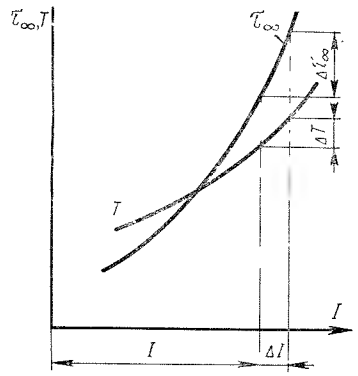


Рис. II-70. Разница в значениях тепловых параметров двигателей, вызванная расхождением их нагрузок

Относительная разница в тормозных силах, развиваемых параллельно включенными тяговыми двигателями при номинальном значении их э. д. с. $\bar{E}$ и относительной разнице в к. п. д., равной $\Delta\eta_0 = \frac{\Delta\eta}{\eta}$ (в режиме рекуперации),

$$\Delta B_0 = \frac{0{,}367\,\bar{E}}{\bar{B}} \times$$

$$\times \sqrt{\left(\frac{\bar{I}_a}{\bar{v}\eta}\right)^2 \Delta I_{a0} + \left(\frac{\bar{I}_a}{\bar{v}^2\eta}\right)^2 \Delta v_0^2 + \left(\frac{\bar{I}_a}{\bar{v}\eta}\right)^2 \Delta\eta_0^2}$$

может достигать 30% и более, с чем приходится считаться при оценке степени использования мощности электровозов в режиме рекуперации.

От разницы ΔI в нагрузках параллельно работающих тяговых двигателей зависит степень использования мощности локомотива по условиям нагревания: даже при идентичных тепловых параметрах этих двигателей разница в температурах нагрева их за время t составит (рис. II-70):

$$\Delta\tau = \Delta I \sqrt{\left(1 - e^{-\frac{t}{\bar{T}}}\right)^2 (a_\tau + 2b_\tau \Delta I)^2 + \ldots}$$

$$\ldots \sqrt{+ \left(\frac{\bar{\tau}_\infty t}{\bar{T}^2}\right)^2 e^{-\frac{2t}{\bar{T}}} (a_\tau + 2b_\tau \Delta I)^2},$$

где $\bar{T}$ и $\bar{\tau}_\infty$ — номинальные значения тепловых параметров тягового двигателя при номинальной нагрузке I;

a_τ, b_τ и a_T, b_T — коэффициенты аппроксимации кривой $\overline{\tau}_\infty(I)$ и кривой $\overline{T}(I)$ в пределах ΔI соответственно.

Разброс значений самих тепловых параметров τ_∞ и T тяговых двигателей эквивалентен в тепловом отношении условной разнице нагрузок ΔI_τ по установившемуся перегреву и ΔI_T — по тепловой постоянной, которые обусловливают величину отклонения температуры данного двигателя от расчетной.

При расхождении скоростных характеристик тяговых двигателей на $\pm 3\%$ разница в температурах нагрева обмоток якорей при часовом токе в течение 30 мин может достигать 20 — 25° С.

Устранить этот недостаток можно стабилизацией технологического процесса изготовления и сборки тяговых двигателей, и, в известной мере, в условиях эксплуатации путем регулирования возбуждения двигателей, а также подбором диаметров колесных пар локомотива по характеристикам тяговых двигателей.

В режимах ослабленного поля наряду с отклонениями сопротивления обмоток возбуждения тяговых двигателей от номинального причинами нарушения стабильности характеристик локомотивов являются также отклонения сопротивлений шунтирующих резисторов от расчетных.

Относительное отклонение коэффициента ослабления поля от номинального значения в зависимости от допусков на сопротивления составляет:

$$\Delta\beta_0 = (1-\overline{\beta}_x)\sqrt{\Delta R^2_{\text{шхо}} + \Delta R^2_{\text{вхо}}}, \qquad \text{(II-65)}$$

где $\Delta R_{\text{шхо}}$ — относительный допуск на величину «холодного» сопротивления шунтирующей цепи;

$\Delta R_{\text{вхо}}$ — то же, но обмоток возбуждения тяговых двигателей.

Чем глубже номинальное ослабление поля, т. е. меньше величина $\overline{\beta}_x$, тем при прочих равных условиях больше относительные отклонения величины коэффициента ослабления поля.

Наименьшие изменения коэффициента ослабления поля получаются при условии, что

$$\beta_x = \frac{\Delta R^2_{\text{шхо}}}{\Delta R^2_{\text{вхо}}}\,\overline{\beta}_x. \qquad \text{(II-66)}$$

Для выполнения условия (II-66) применительно к каждой ступени ослабления поля должны быть свои допуски на сопротивления.

Повышение использования мощности локомотивов за счет стабилизации их тяговых свойств. Один из возможных путей повышения использования мощности локомотивов заключается в стабилизации их тяговых свойств, которую осуществляют: подбором тяговых двигателей с идентичными по возможности характеристиками; компенсацией расхождения характеристик тяговых двигателей путем регулировки положения щеток относительно нейтрали; улучшением технического состояния локомотива и его электрического оборудования, определяющего омическое сопротивление цепей; введением в силовые цепи тех локомотивов, цепи которых это допускают без существенных осложнений, уравнительных соединений между тяговыми двигателями; уходом за механической частью локомотива, от состояния которой зависят изменения нагрузок осей и т. д.

В условиях эксплуатации возникает вопрос о том, как влияют на вес состава случайные отклонения силы тяги локомотивов и случайные отклонения силы сопротивления движению составов от их расчетных значений [7].

Вес поезда есть отношение силы тяги локомотива к удельному сопротивлению движению с учетом отклонений от расчетных значений, т. е. $Q = \frac{F}{w''}$.

Для всего локомотивного парка депо распределение силы тяги при данном режиме работы локомотивов описывается в первом приближении нормальным законом с параметрами $\overline{F}$ и σ_F:

$$p_1(F) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_F}\, e^{-\frac{(F-\overline{F})^2}{2\sigma_F^2}}.$$

При этом среднее значение силы тяги

$$\overline{F} = \frac{\sum_1^N F_i}{N_л} \approx F_н,$$

где F_i — сила тяги данного локомотива;

$N_л$ — число локомотивов данной серии;

$F_н$ — номинальная (расчетная) сила тяги локомотива.

Дисперсия силы тяги

$$\sigma_F^2 = \frac{\Sigma (F_i - \overline{F})^2}{N_л}.$$

Плотность распределения значений удельного сопротивления движению состава данного типа представим также в виде нормального закона с параметрами $\overline{w}$ и σ_w^2:

$$\overline{w} = \frac{\sum_1^n w_i}{n} \approx w_н \quad \text{и} \quad \sigma_w^2 = \frac{(w_i - \overline{w})^2}{n},$$

где w_i — удельное сопротивление движению данного состава;

n — число однотипных составов, перевозимых локомотивами данной серии;

$w_н$ — номинальное (расчетное) значение удельного сопротивления движению данного состава

Плотность распределения возможных весов составов приближенно определяется как

$$p(Q) = \frac{1}{a\sqrt{\pi}\left(1+\frac{Q}{a}\right)^2} \times$$

$$\times \frac{B}{\sqrt{A}}\, e^{\frac{B^2}{A} - C}, \qquad \text{(II-67)}$$

где

$$a = \frac{\sigma_F}{\sigma_w}; \quad A = \frac{Q^2\sigma_w^2 + \sigma_F^2}{2\sigma_w^2\sigma_F^2};$$

$$B = \frac{Q\overline{F}\sigma_w^2 + \overline{w}\sigma_F^2}{2\sigma_w^2\sigma_F^2}; \quad C = \frac{\overline{F}^2\sigma_w^2 + \overline{w}^2\sigma_F^2}{2\sigma_w^2\sigma_F^2}.$$

Вероятность реализации веса поезда Q, если $Q_1 < Q < Q_2$,

$$P\{Q_1 < Q < Q_2\} = \int_{Q_1}^{Q_2} p(Q)\,dQ.$$

На рис. II-71 представлена плотность вероятности реализации возможных весов поездов, рассчитанная по формуле (II-67), для следующих условий: расчетное (среднее) значение силы тяги локомотива $\overline{F} = 40\,000$ кгс; среднее квадратичное значение ее отклонения от расчетного составляет 10%, т. е. $\sigma_F = 0{,}1\,\overline{F} = 4000$ кгс; расчетное (среднее) значение удельного сопротивления движению $\overline{w} = 10$ кгс/тс и разброс его 10%, следовательно $\sigma_w = 0{,}1\,\overline{w} = 1$ кгс/тс.

Вес состава, рассчитанный по средним значениям,

$$\overline{Q} = \frac{\overline{F}}{\overline{w}} = 4000 \text{ тс}.$$

Плотность распределения его (кривая *1* на рис. 71):

$$p(4000) = \frac{1}{4000\sqrt{\pi}} \times$$

$$\times \frac{1}{1+\left(\frac{4000^2}{4000}\right)}\, 10 = 0{,}705\cdot 10^{-3}.$$

Пользуясь кривыми рис. II-72, можно прогнозировать вероятность реализации веса составов, отличающихся от расчетного, найденного по средним значениям $\overline{F}$ и $\overline{W}$ и равного $\overline{Q} = 4000$ тс. Например, вероятность реализации веса состава, превышающего расчетный до 100 тс (заштрихованная площадка справа от вертикальной прямой), составит

$$P\{4000 < Q < 4100\} = \int_{4000}^{4100} p(Q)\,dQ,$$

или примерно 7,5% общей площади. Значит в семи-восьми поездках из 100 возможна реализация веса поездов на 100 тс больше расчетной нормы.

Существует такая же вероятность, что в семи-восьми поездках из 100 будут реализованы веса поездов только от 4000 до 3750 тс. Во избежание этого стабилизируют тяговые свойства локомотивов и сопротивление движению состава. Например, среднее квадратичное отклонение силы тяги локомотивов уменьшено по сравнению

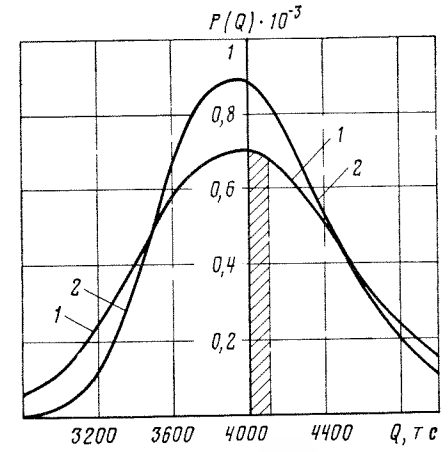


Рис. II-71. Плотность распределения вероятностей реализации весовой нормы

с предыдущим случаем в 2 раза и составляет $\sigma_F = 0{,}05\,\overline{F} = 2000$ кгс. Значения $\overline{F} = 40\,000$ кгс; $\overline{w} = 10$ кгс/тс, т. е. те же, что и ранее.

Разброс величины удельного сопротивления движению поезда уменьшен в 2 раза и теперь $\sigma_W = 0{,}05\,\overline{w} = 0{,}5$ кгс/тс.

Распределение веса составов применительно к новым условиям, рассчитанное по выражению (II-67), представлено кривой *2* на рис. II-71.

Сравнение ординат кривых *1* и *2* показывает, что благодаря стабилизации тяговых свойств локомотивов, в результате которой в 2 раза уменьшилось среднее квадратичное отклонение силы тяги, и уменьшению в 2 раза разброса сопротивления движению возросла возможность реализации веса составов, превышающего расчетную норму на 100 тс.

Кроме того, сократилось количество составов, имеющих по условиям реализации силы тяги локомотивами вес от 4000 до 3750 тс.

Возможный вес составов был определен без учета мастерства вождения поездов машинистами, их личных качеств и опыта работы.

Квалифицированные машинисты наиболее полно реализуют имеющиеся возможности, используя благоприятные режимы трогания и ведения поезда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуковский Н. Е. Полное собр. соч., т. 8. Изд. Гл. редакции авиационной литературы. 1939, 291 с.
2. Лазарян В. А. Исследование неустановившихся режимов движения поезда. М., Трансжелдориздат, 1949, 133 с.
3. Беляев Н. М. К вопросу о местных напряжениях в связи с сопротивлением рельсов смятию. Сб. Труды ЛИИЖТа «Строительная механика», вып. 99, 1929, с. 283—296.
4. Беляев Н. М. Вычисление наибольших расчетных напряжений при сжатии соприкасающихся тел. Сб. Труды ЛИИЖТа, вып. 102, 1929, с. 151—175.
5. Минов Д. К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей. М., «Транспорт», 1965, 266 с.
6. Минов Д. К. Теория процесса реализации сил сцепления при электрической тяге и способы повышения их использования. Сб. «Проблемы повышения эффективности работы транспорта», вып. 1. АН СССР 1953, с. 7—129.
7. Исаев И. П. Случайные факторы и коэффициент сцепления. М., «Транспорт», 1970, 182 с.
8. Крагельский И. В. Молекулярно-механическая теория трения. Трение и износ в машинах. Труды II Всесоюзной конференции по трению и износу в машинах. АН СССР, т. III, 1949, 336 с.
9. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М., «Транспорт», 1969, 318 с.
10. Розенфельд В. Е., Исаев И. П., Сидоров Н. Н. Электрическая тяга. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М., Трансжелдориздат, 1962, 346 с.
11. Бабичков А. М., Егорченко В. Ф. Тяга поездов. Изд. 3-е, доп. и перераб. Учебник для вузов ж. д. транспорта. М., Трансжелдориздат. 1955, 356 с.
12. Медель В. Б. Подвижной состав электрических железных дорог. 1. Конструкция и динамика. Изд. 3-е перераб. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М., «Транспорт», 1965, 279 с.
13. Тихменев Б. Н., Трахтман Л. М. Подвижной состав электрических железных дорог. Теория работы электрооборудования, электрические схемы и аппараты. Изд. 3-е, перераб. и доп. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М., «Транспорт», 1969, 407 с.
14. Захарченко Л. Д., Ротанов Н. А., Горчаков Е. В., Шляхто П. Н. Подвижной состав электрических железных дорог. Тяговые электрические машины и трансформаторы. Изд. 3-е, доп. и перераб. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М., «Транспорт», 1968, 295 с.
15. Алексеев А. Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. М., «Энергия», 1967, 431 с.

III. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОВОЗОВ, ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ, ТЕПЛОВОЗОВ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ

III-1. ТЕЛЕЖКИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Магистральные электровозы имеют по две трехосные тележки (электровозы ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22м, ВЛ60к) или по четыре двухосные (ВЛ8, ВЛ10, ВЛ80к, ВЛ80т, ВЛ82, ВЛ82м и др.). Тележки могут быть сочлененными (электровозы ВЛ22м, ВЛ23, ВЛ8) и несочлененными (электровозы ВЛ8, ВЛ10, ЧС2, ЧС4, ВЛ60к, ВЛ80к, ВЛ80т, ВЛ82м). Рамы тележек магистральных электровозов разделяют на брусковые (электровозы ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22м), литые (электровозы ВЛ8) и сварные (электровозы ВЛ10, ВЛ80к, ВЛ80т и др.).

Рама (рис. III-1) первой тележки электровоза ВЛ8 (рис. III-2) цельнолитая, коробчатого типа, из стали 25ЛII по ГОСТ 977—65*.

Тележки электровоза ВЛ60к (рис. III-3) имеют рамы, боковины которых выполнены из двух штампованных половин: листы толщиной 10 мм из прокатной спокойной стали В Ст3 ГОСТ 380—71. Вертикальный прогиб боковины на всей длине не превышает 5 мм. Концевой брус, несущий тяговый двигатель и шкворневые брусья отлиты из стали 12 1ТП.

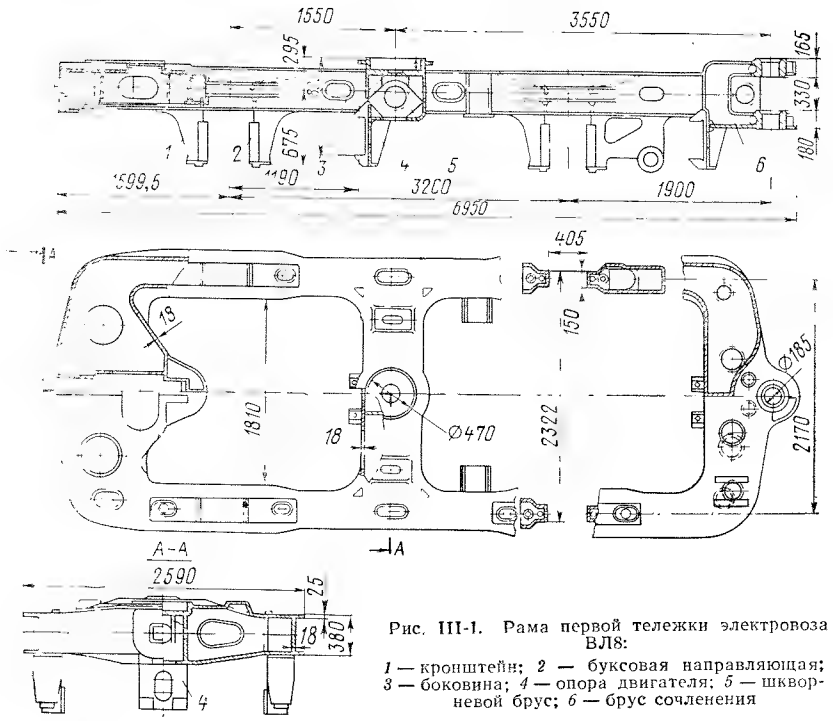


Рис. III-1. Рама первой тележки электровоза ВЛ8:
1 — кронштейн; *2* — буксовая направляющая; *3* — боковина; *4* — опора двигателя; *5* — шкворневой брус; *6* — брус сочленения

Тележка электровоза ВЛ80к (рис. III-4) имеет раму (рис. III-5), боковины которой сварены из четырех листов. Отдельные кронштейны для буксовых поводков приварены снизу к боковинам. Допускается вертикальный прогиб боковины на всей длине не более 5 мм. При сварке боковины возможны зазоры между боковыми и горизонтальными (верхним и нижним) листами не более 2 мм. Вертикальный прогиб концевого бруса не должен превышать 3 мм

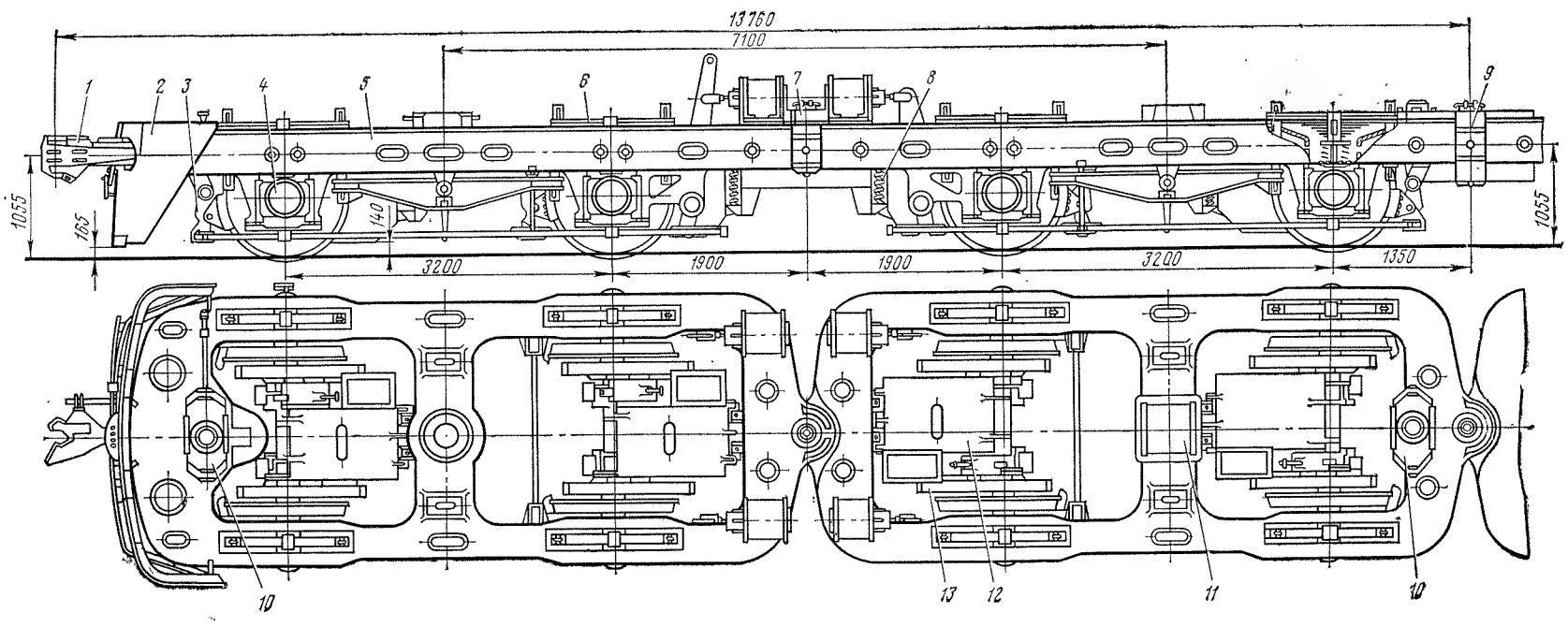


Рис. III-2. Тележка электровоза ВЛ8:

1 — автосцепка; *2* — путеочиститель; *3* — тормозная система; *4* — букса; *5* — рама; *6* — рессорное подвешивание; *7* — крайнее сочленение; *8* — пружинное подвешивание двигателя; *9* — среднее сочленение; *10* — дополнительные опоры; *11* — поперечный брус; *12* — тяговый двигатель; *13* — кожух зубчатой передачи

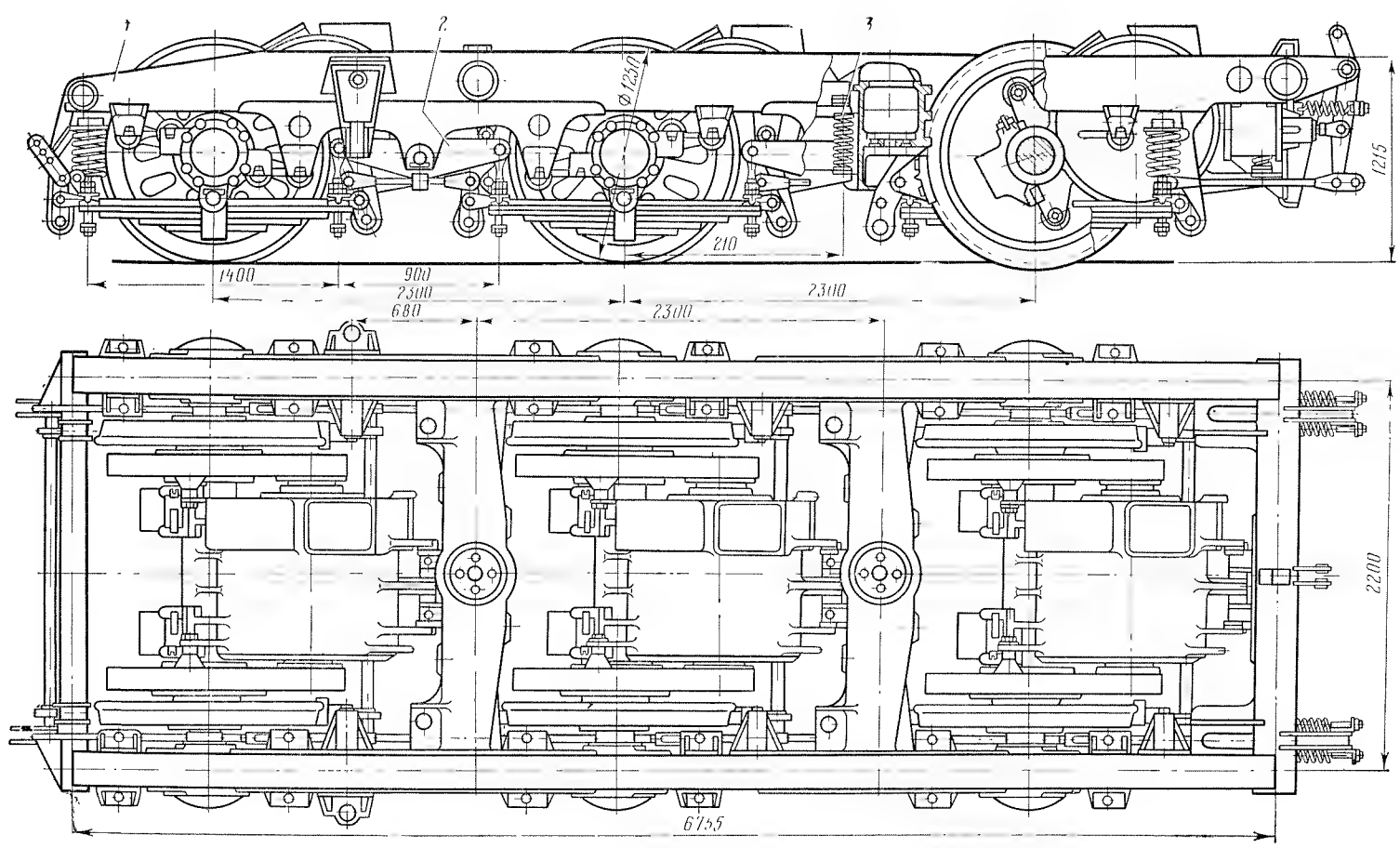


Рис. III-3. Тележка электровоза ВЛ60к:

1 — рама; *2* — сбалансированное упругое подвешивание; *3* — подвеска тягового двигателя

по всей длине. Шкворневой брус отлит из стали 12ЛII. Предельные отклонения литейных размеров, веса и припуски на механическую обработку — по III классу ГОСТ 2009—55. Снизу к шкворневому брусу приварена коробка гнезда шкворня, а к ней — цилиндры, в которых размещены пружины возвращающего устройства шкворня.

Сварное соединение отдельных частей рамы выполняется электродами ЭЧ2А ГОСТ 9467—60 марки УОНИИ 13/45 с полным проваром с основным металлом и зачисткой с допуском от +3 и до —1 мм.

Рама тележки электровоза ЧС2 (рис. III-6) имеет боковины из двух половин, штампованных из листовой стали толщиной 12 мм и сваренных продольными швами, расположенными по средней горизонтальной плоскости сечения. Поперечные балки — концевые и средняя — выполнены также штампованными из листа толщиной 12 мм, а шкворневая — толщиной 14 мм. Нижняя поверхность боковины несколько приподнята над буксами. Через боковины пропущены стальные втулки в качестве буксовых направляющих.

Рама тележки электровоза ЧС4 (рис. III-7) имеет коробчатое сечение. Вместо буксовых направляющих предусмотрены кронштейны для буксовых поводков.

Буксовое рессорное подвешивание (табл. III-1) электровоза ВЛ8 (рис. III-8) состоит из последовательно работающих пружин и рессор. Общая жесткость подвешивания на одну тележку составляет 470 кгс/мм, что соответствует статическому прогибу 70 мм.

Буксовое подвешивание электровозов ВЛ60^{к}, ВЛ60^{п} сбалансировано (рис. III-9).

Электровозы ВЛ80^{к} и ВЛ10 имеют индивидуальное (несбалансированное) буксовое подвешивание (рис. III-10), состоящее из листовых рессор (рис. III-11) и пружин. Электровозы ВЛ80 до № 22 и электровозы ВЛ10 до № 8 включительно имеют пружинное буксовое подвешивание (рис. III-12).

Буксовое подвешивание электровозов ЧС2 показано на рис. III-13. На электровозах ЧС4 принято индивидуальное буксовое подвешивание на пружинах, опирающихся на подбуксовые балансиры (рис. III-14).

Листовые рессоры отечественного изготовления выполняются из желобчатой стали 16×120, марки 55С2 и 60С2 ГОСТ 7419—74 с термообработкой до НВ 363—432. После термообработки рессорные листы подвергаются наклепу дробью. Хомут изготовляется из углеродистой стали 10 ГОСТ 1050—74 или Ст3 ГОСТ 380—71. Его надевают на пакет

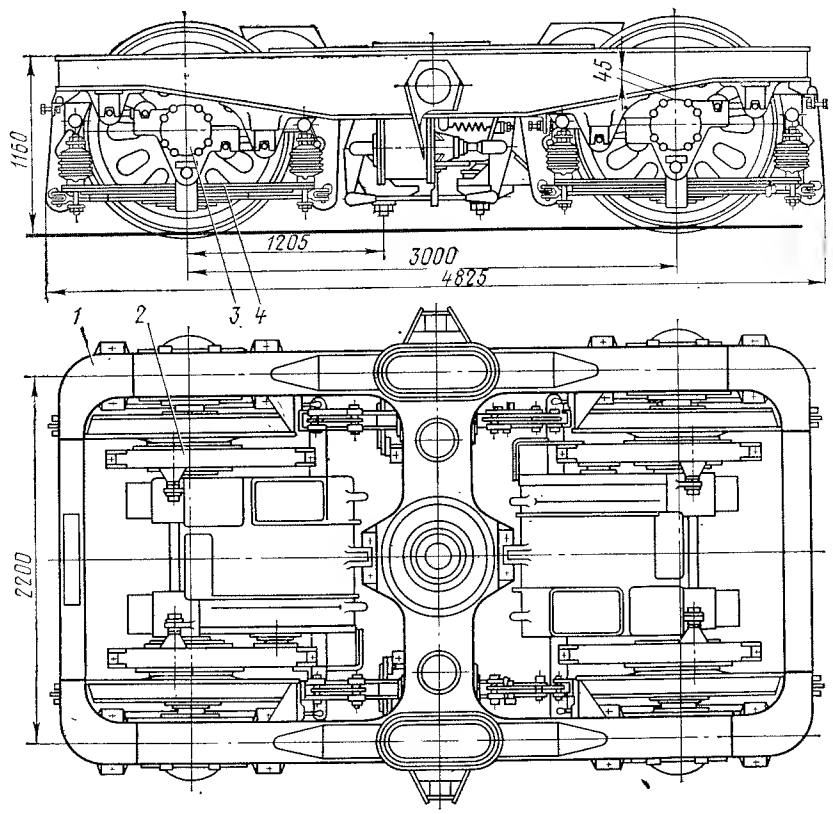
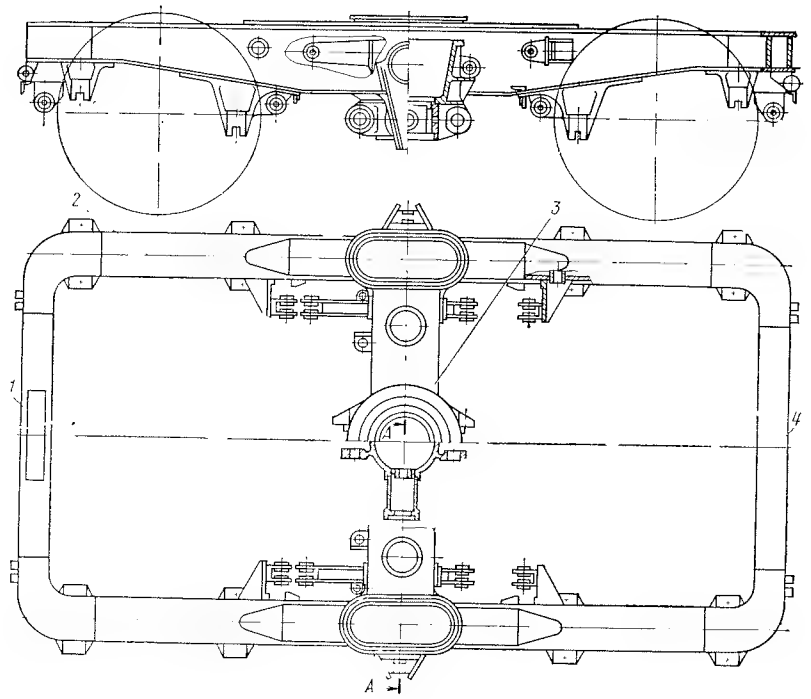


Рис. III-4. Тележка электровоза ВЛ80^{к}:
1 — рама; *2* — кожух зубчатой передачи; *3* — букса; *4* — рессора упругого подвешивания



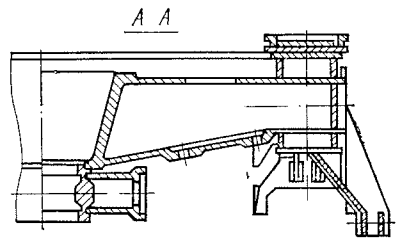


Рис. III-5. Рама тележки электровоза ВЛ80^{к}:
1 и *4* — концевой брус; *2* — боковина; *3* — шкворневой брус

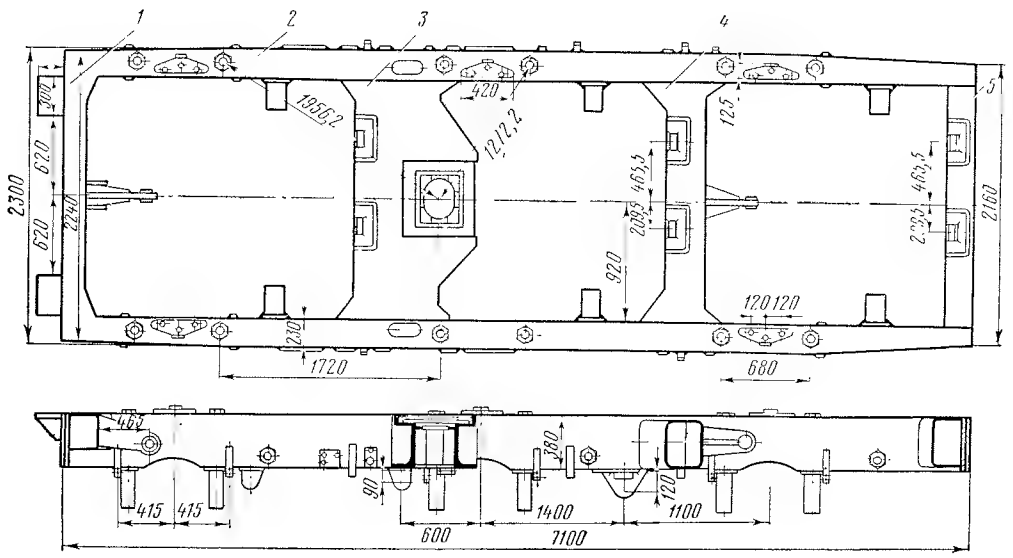


Рис. III-6. Рама тележки электровоза ЧС2:
1 — концевой брус; *2* — боковина; *3* — шкворневой брус; *4* — средний брус; *5* — концевой брус

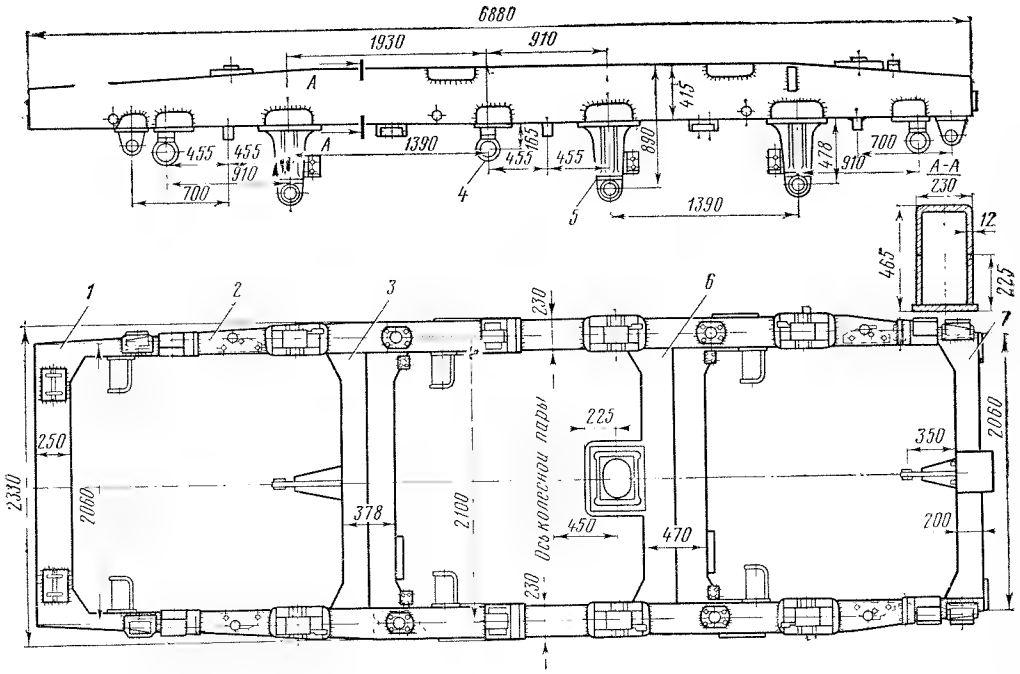


Рис. III-7. Рама тележки электровоза ЧС4:

1 — концевой брус; *2* — боковина; *3* — средний брус; *4* и *5* — соответственно малый и большой кронштейны для крепления буксовых поводков; *6* — шкворневой брус; *7* — концевой брус

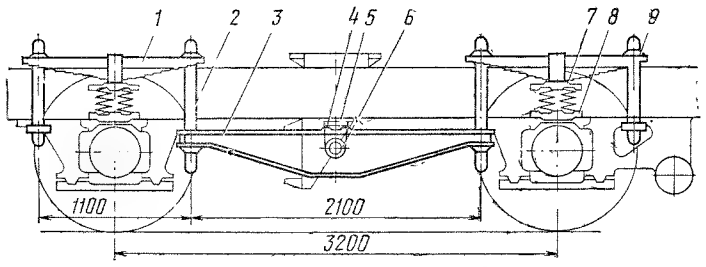


Рис. III-8. Рессорное подвешивание тележки электровоза ВЛ8:

1 — рессора; *2* — подвеска; *3* — балансир; *4* — наличник; *5* — накладка; *6* — предохранительный валик; *7* и *8* — верхняя и нижняя обоймы; *9* — накладки

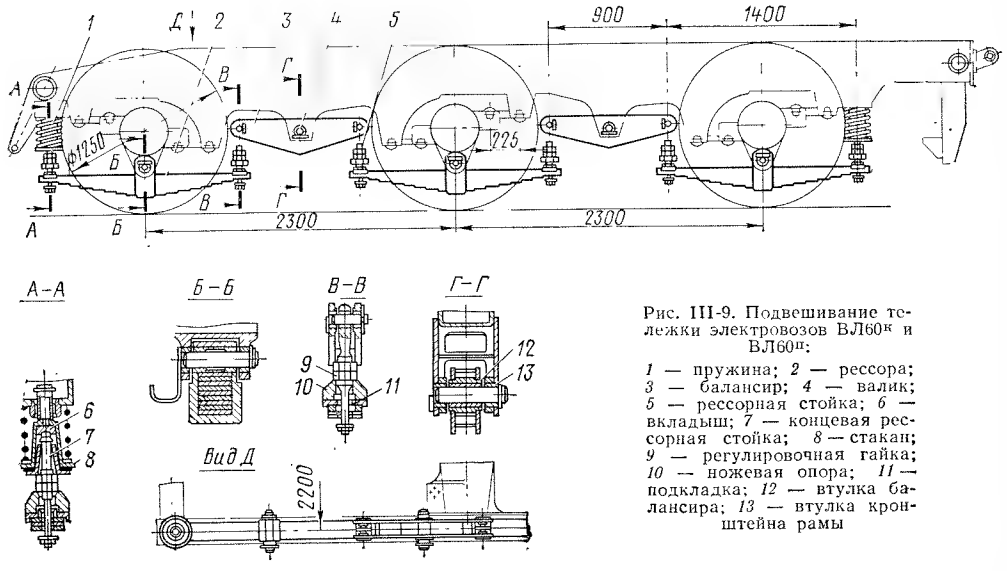


Рис. III-9. Подвешивание тележки электровозов ВЛ60^{к} и ВЛ60^{п}:

1 — пружина; *2* — рессора; *3* — балансир; *4* — валик; *5* — рессорная стойка; *6* — вкладыш; *7* — концевая рессорная стойка; *8* — стакан; *9* — регулировочная гайка; *10* — ножевая опора; *11* — подкладка; *12* — втулка балансира; *13* — втулка кронштейна рамы

Таблица III-1

Основные технические данные буксового рессорного подвешивания электровозов

Показатели	Электровоз серии				
	ВЛ8	ВЛ60^{к} и ВЛ60^{п}	ВЛ80^{к} и ВЛ10	ЧС2	ЧС4
Листовая рессора					
Число листов	14	10	10	11	—
Толщина листа, мм	13	16	16	16	—
Ширина листа, мм	100	120	120	120	—
Длина рессоры под статической нагрузкой, мм	1100	1400	1400	1200	—
Жесткость рессоры, кгс/мм	150	127	127	248	—
Пружины					
Средний диаметр, мм	120/65	160	—	160	235
Высота в свободном состоянии, мм	204/201	236	—	200	—
Диаметр прутка, мм	33/19	40	—	40	42
Число рабочих витков	4/7,5	3,5	—	3	5,5
Число всех витков	5,5/9	5,0	—	4,5	7
Жесткость пружины, кгс/мм	180/62	178	—	210	—

Примечание. Величины в числителе относятся к наружной, в знаменателе — к внутренней пружине.

листов и опрессовывают в горячем состоянии. Изготовление, правила приемки и методы испытания рессор по ГОСТ 1425—62.

Пружины изготовляются из стали 55С2 ГОСТ 7419—74. Допускается изготовление их из стали 60С2.

Балансирные валики изготовлены из стали 40 ГОСТ 1050—74 и закалены токами высокой частоты до твердости HRC 45 — 55, а втулки — из стали Г13Л ГОСТ 2176—67. Валики могут свободно поворачиваться во втулках балансиров и кронштейнов рамы и работают без смазки.

Регулировку рессорного подвешивания производят на собранном электровозе на ровном участке пути. После окончательной регулировки допускается отклонение листовой рессоры от горизонтального положения до 20 мм. Разница в прогибах листовых рессор на одной тележке не должна превышать 1 мм, а пружин — 2 мм. Балансиры и рессоры устанавливают стороной с клеймом наружу.

Каждая секция кузова электровозов ВЛ8 опирается на тележки двумя плоскими пятниками (рис. III-15) с приваренными сменными закаленными наличниками и двумя дополнительными опорами с резино-металлическими блоками, скользящими по опорной плите.

Опоры кузова электровозов ВЛ60^{к} и ВЛ60^{п} маятникового типа с резиновыми конусами (рис. III-16). Жесткость каждого конуса при осевом сжатии 650 — 850 кгс/мм. Боковые пружинные опоры с качающимися стержнями (рис. III-17, *а*) установлены на электровозах ВЛ60 до № 169, а на последующих и на электровозах ВЛ60^{п} — скользящие опоры (рис. III-17, *б*), сила трения при коэффициенте 0,25 составляет 1 тс.

Конструкция опор кузовов электровозов ВЛ80^{к} и ВЛ10 поясняется рис. III-18 и III-19. На электровозах ВЛ10 применено центральное подвешивание как у ВЛ80^{к}. Люлечное (центральное) подвешивание кузова электровоза ЧС2 выполнено на продольных рессорах (рис. III-20). Люлечная рессора электровоза ЧС2 показана на рис. III-21.

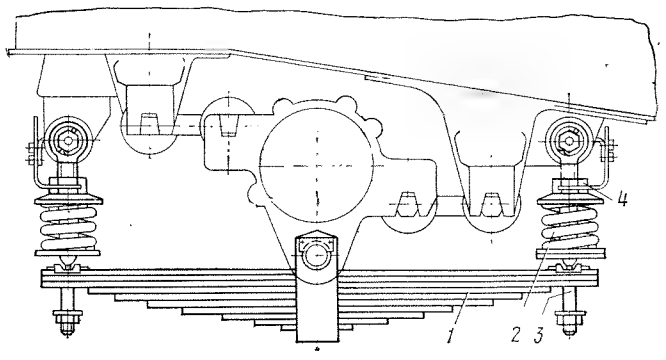


Рис. III-10. Рессорное подвешивание тележек электровозов ВЛ80^{к} и ВЛ10:

1 — листовая рессора; *2* — пружина; *3* — стойка; *4* — опорная гайка

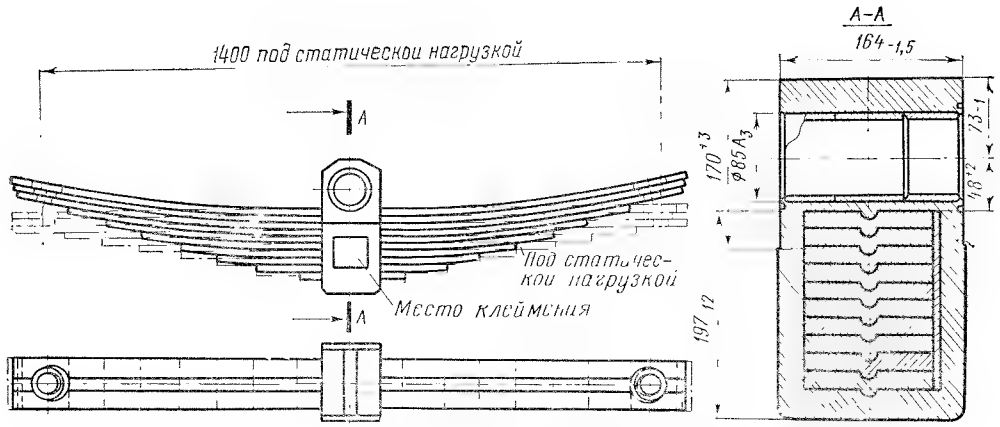


Рис. III-11. Листовая рессора электровозов ВЛ80к и ВЛ10

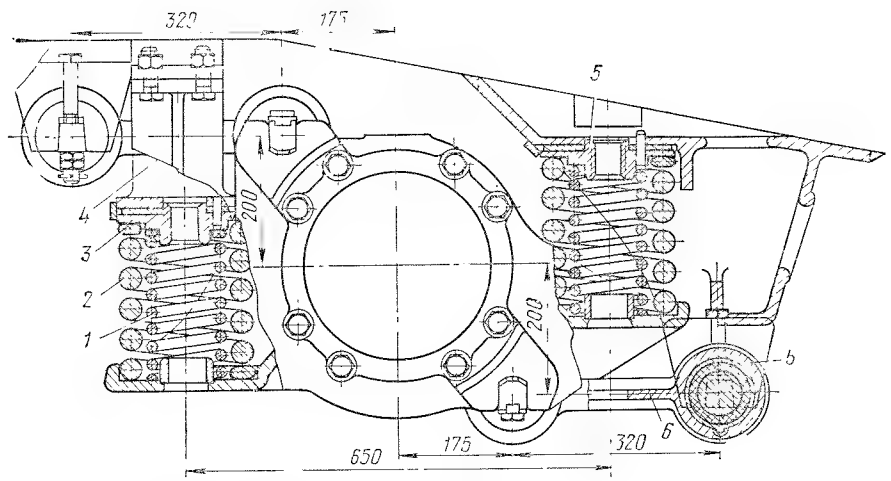


Рис. III-12. Пружинное подвешивание тележки электровозов ВЛ80 (до № 22) и ВЛ10 (до № 8):
1 и *2* — внутренняя и наружная пружины; *3* — регулировочные прокладки; *4* и *6* — буксовые поводки; *5* — обойма

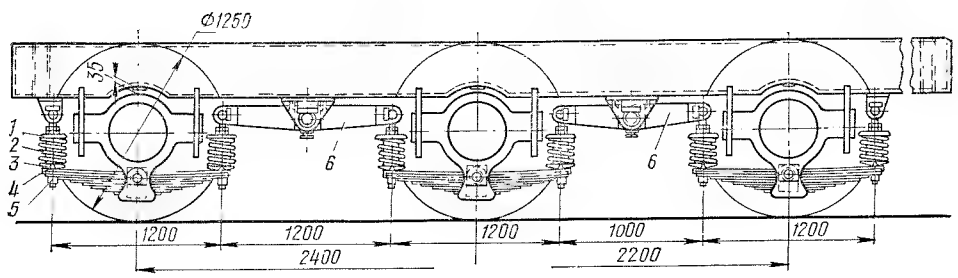


Рис. III-13. Буксовое подвешивание электровозов ЧС2:
1 и *3* — верхняя и нижняя обоймы; *2* — пружина; *4* — ножевая накладка; *5* — рессорная стойка *6* — балансир

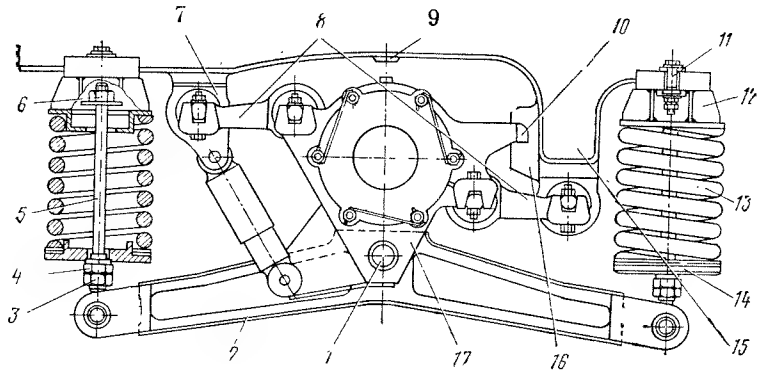


Рис. III-14. Буксовое подвешивание электровозов ЧС4:
1 — валик; *2* — подбуксовый балансир; *3* — контргайка; *4* — регулировочная гайка; *5* — монтажный шток; *6* — монтажная гайка; *7, 15* — кронштейны; *8* — поводок; *9, 10* и *16* — жесткие упоры; *11* — клин; *12* — дополнительная съемная опора; *13* — пружина; *14* — тарелка; *17* — корпус буксы

Технические данные люлечной рессоры электровоза ЧС2 следующие (в мм):

Расчетная длина	140
Ширина листа	120
Толщина »	20
Число коренных листов	2
» наборных »	8

У электровозов ЧС4 нагрузка кузова на каждую тележку передается в четырех точках непосредственно на боковины при помощи упругих пружинных скользящих опор (рис. III-22).

Технические данные пружины боковой опоры кузова электровоза ЧС4 следующие

Наружный диаметр, мм	250	135
Диаметр прутка, мм	50	20
Число рабочих витков	5	8
Высота в свободном состоянии, мм	400	340
Жесткость, кгс/мм	155	42

Колесная пара электровоза ВЛ8 выполнена с литым двухстенным колесным центром и удлиненной ступицей, на которую насажен центр зубчатого колеса с от-

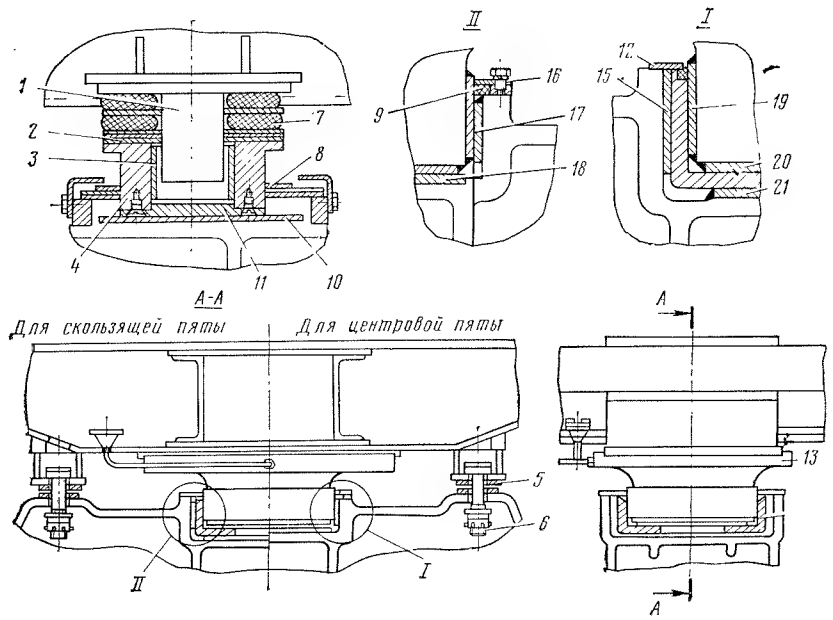


Рис. III-15. Опоры кузова электровоза ВЛ8:
1 — направляющая; *2* — регулировочная прокладка; *3* — сменная втулка; *4* — упругая опора; *5* — износоустойчивые наличники; *6* — болт; *7* — резиновые шайбы; *8* — защитный щит; *9* — войлочное уплотнение; *10* — наличник; *11* — скользун; *12* — щиты; *13* — жесткая центральная опора; *14* — подпятник; *15, 18, 20* и *21* — наличники; *16* — щит; *17, 19* — кольцевые наличники

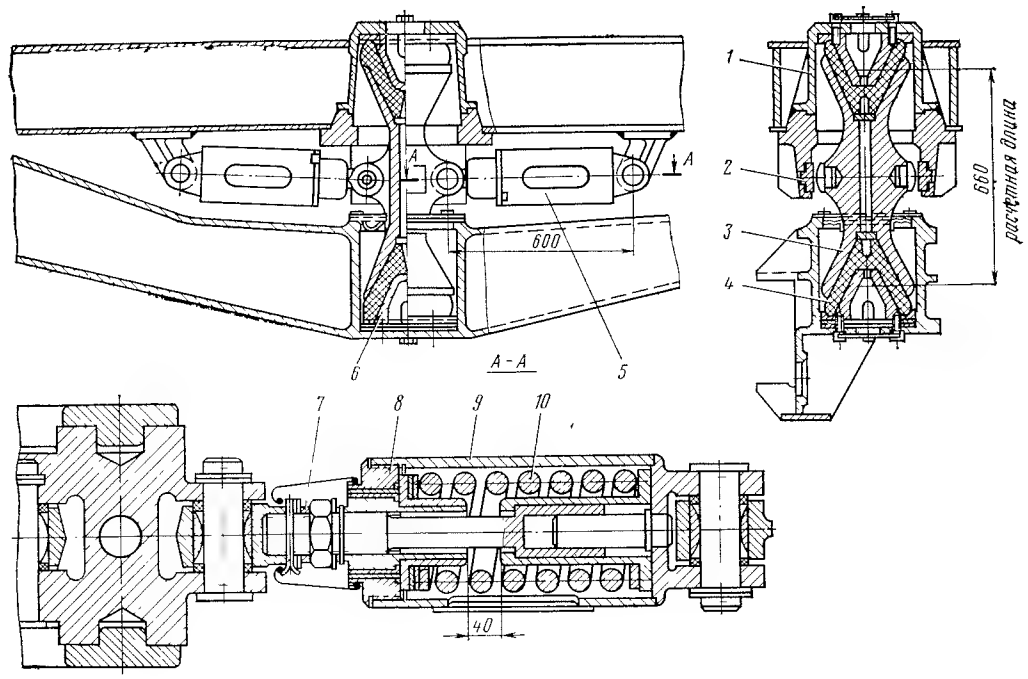


Рис. III-16. Центральная опора кузова электровозов ВЛ60к и ВЛ60п:
1 — стакан; *2* — кронштейн рамы кузова; *3* — маятник; *4* — резиновый конус; *5* — возвращающее устройство; *6* — качающийся стержень; *7* — дистанционное кольцо; *8* и *9* — крышка и корпус возвращающего устройства; *10* — пружина

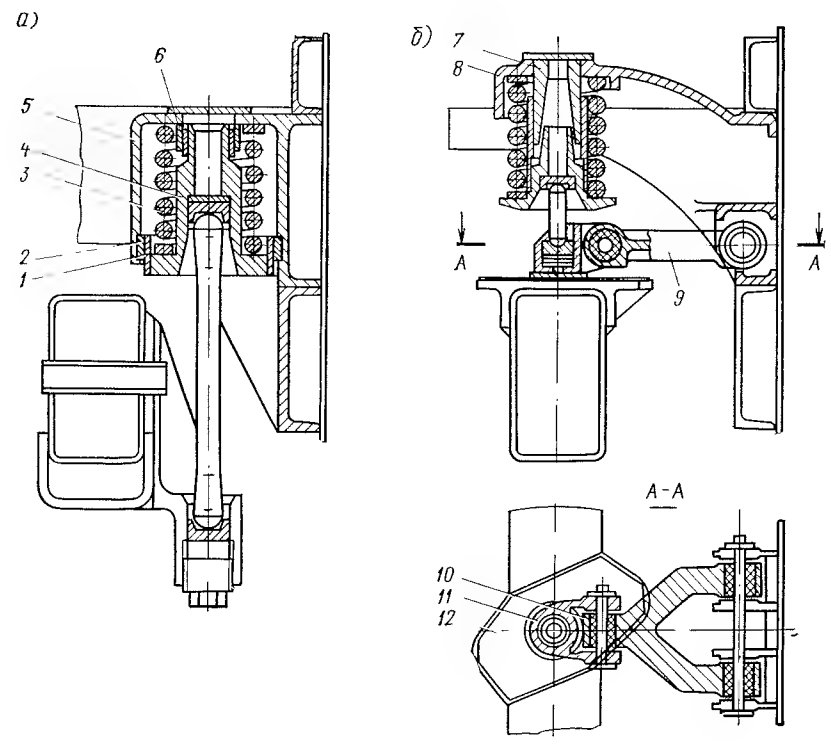


Рис. III-17. Боковые опоры кузова электровозов ВЛ60к до № 169 (*а*), а также ВЛ60к начиная с № 170 и ВЛ60п (*б*):
1, 2 — кольца; *3* — пружина; *4* и *5* — внутренний и наружный стаканы; *6, 7* — втулки; *8* — кронштейн рамы кузова; *9* — тяга; *10* — резино-металлическая втулка; *11* — скользун; *12* — наличник

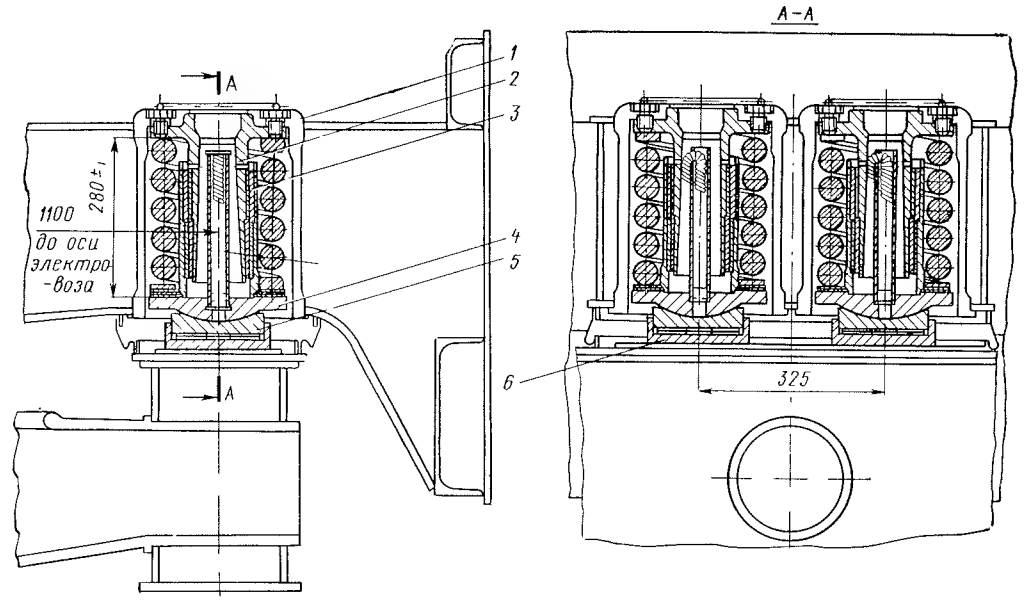


Рис. III-18. Опоры кузова электровоза ВЛ80к:
1 — наружный стакан; *2* — направляющая; *3* — пружина; *4* — внутренний стакан; *5* — сферический подпятник; *6* — скользун

дельным косозубым венцом из стали 50 по ГОСТ 1050—74 (рис. III-23). Диаметр колес по кругу катания 1200 мм.

Электровозы ВЛ60к, ВЛ80, ВЛ80к и ВЛ10 имеют унифицированные колесные пары с зубчатым колесом на удлиненной ступице (рис. III-24). Колесные пары должны удовлетворять требованиям ГОСТ 11018—64.

Колесный центр с бандажом и зубчатым колесом запрессовывают на ось с усилием 110 — 150 тс в конце запрессовки. Допускается понижение усилия в конце запрессовки не более чем на 5% максимального и на длине запрессовки не более 10%. Величина натяга не должна превышать 0,22 мм.

Оси унифицированных колесных пар электровозов ВЛ60к, ВЛ80, ВЛ80к и ВЛ10 (рис. III-25) изготовляют из осевой локомотивной стали Ос. Л ГОСТ 4728—72. Откованные заготовки осей нормализуют с последующим отпуском. Ось должна удовлетворять требованиям ГОСТ 3281—59. Допуск диаметра подступичной части оси подбирают по фактическим раз-

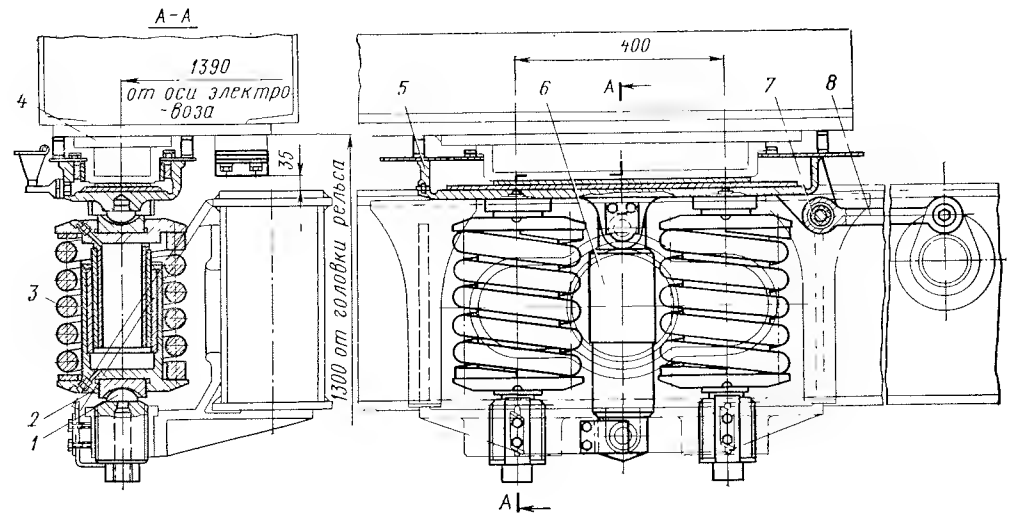


Рис. III-19. Опоры кузова электровоза ВЛ10:
1 — сухарь, *2* — вкладыш; *3* — пружина; *4* — скользун; *5* — ванна скользуна; *6* — гидравлический демпфер; *7* — сайлентблок; *8* — тяга

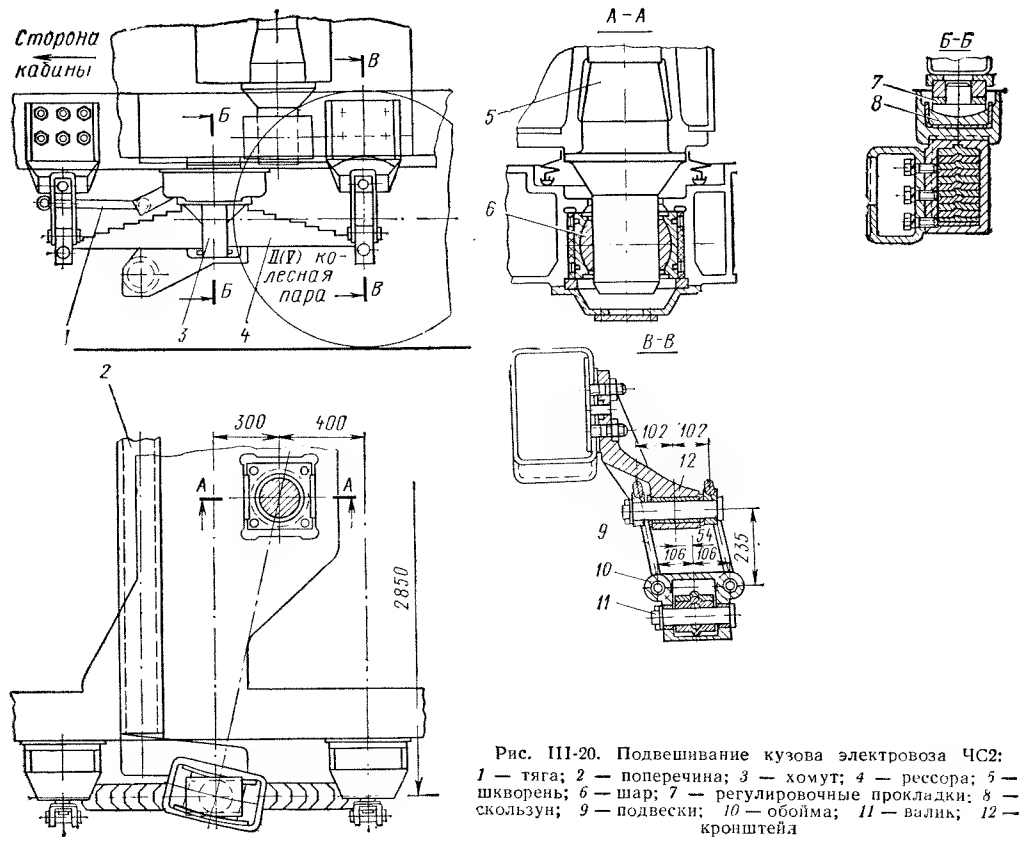


Рис. III-20. Подвешивание кузова электровоза ЧС2:
1 — тяга; *2* — поперечина; *3* — хомут; *4* — рессора; *5* — шкворень; *6* — шар; *7* — регулировочные прокладки; *8* — скользун; *9* — подвески; *10* — обойма; *11* — валик; *12* — кронштейн

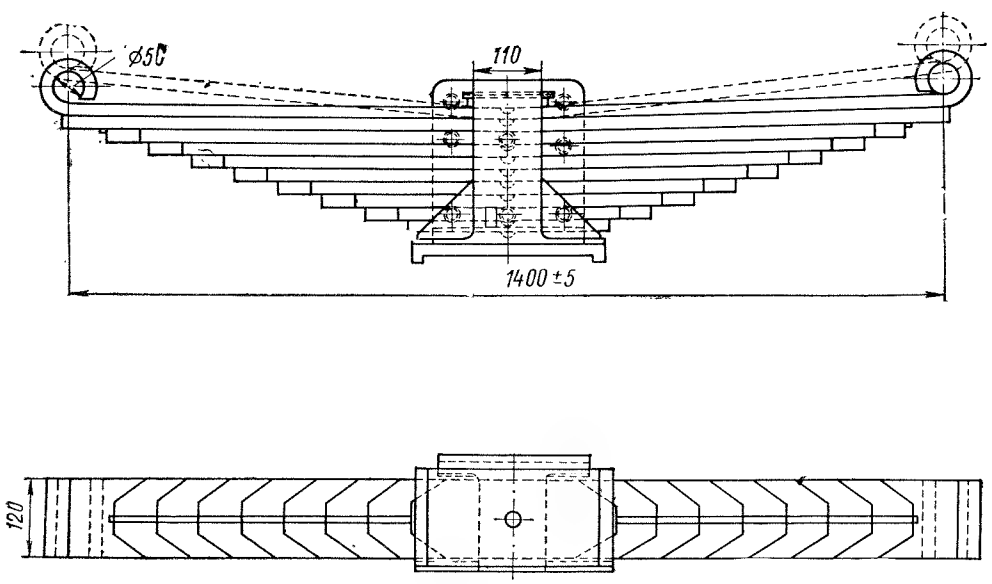


Рис. III-21. Рессора подвешивания кузова электровоза ЧС2

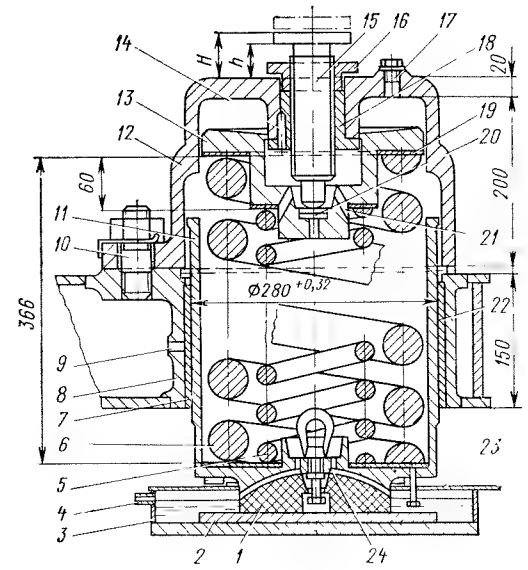


Рис. III-22. Опоры кузова электровоза ЧС4:
1 — вкладыш; *2* — скользун; *3* — масляная ванна; *4* — патрубок; *5* и *6* — внутренняя и наружная пружины; *7* — направляющая втулка; *8* — гнездо; *9* — канал; *10* — болт; *11* — стакан; *12* — крышка; *13* — опорная чашка; *14* — штифт; *15* — регулировочный болт; *16* — контргайка; *17* — пробка; *18* — втулка; *19* — прокладка; *20* — сухарь; *21, 24* — каналы; *22* — кольцевая прокладка; *23* — щиток

мерам сопрягаемых поверхностей колеса и оси, обеспечивающим усилие запрессовки. На ось наносят клеймо в соответствии с ГОСТ 11018—64.

Колесный центр унифицированной колесной пары электровозов ВЛ60к, ВЛ80, ВЛ80к и ВЛ10 (рис. III-26) отливают из углеродистой стали 25ЛIII (25ЛКIII) по ГОСТ 977—65. Отливка должна удовлетворять ГОСТ 4491—48. Конусность удлиненной ступицы для посадки зубчатого колеса должна быть не более 0,07 мм, а овальность — не более 0,05 мм. Конусность по ободу колеса допускается не более 0,2 мм с уменьшением диаметра только в направлении к наружному торцу (внутрь). Размеры без допусков по III классу точности ГОСТ 2009—55, а не оговоренные чертежом литейные радиусы 3—10 мм.

Каждый колесный центр имеет клеймо, на котором указаны: месяц, год изготовления; номер плавки; марка завода; номер центра; клеймо ОТК.

Материал бандажей должен удовлетворять требованиям ГОСТ 398—71 марка III, а размеры — ГОСТ 3281—59. Бандажи изготовляют из раскисленной мартеновской стали, химический состав которой соответствует нормативам для стали 60 (ГОСТ 1050—60). Бандажи подвергают термической обработке, после которой предел прочности при растяжении должен быть не менее 88 кгс/мм². Нормальный наружный профиль бандажа обрабатывают согласно ГОСТ 11018—64.

Размеры, качество обработки и допуски посадочной поверхности показаны на рис. III-27. Конусность и овальность ее не могут превышать 0,25 мм при направлении конуса только меньшим диаметром к наружной стороне бандажа. На посадочной поверхности допускается не более двух черновин глубиной не более 0,5 мм, протяженностью вдоль бандажа не более 40 мм и поперек не более 30 мм при расположении их от края расточной части не менее 10 мм.

Паз под кольцо обрабатывают по шаблону. Бандаж нагревают до температуры не выше 320° С и в нагретом состоянии надевают на обод колесного центра до упора буртом в торец обода. При этом допускается зазор между боковой гранью обода и упорным буртом бандажа не более 0,5 мм по всей окружности на глубину не более половины высоты бурта. Натяг должен быть в пределах 1,10 — 1,53 мм.

Бандажное кольцо заводят в выточку при температуре бандажа не менее 200° С. Концы заведенного в выточку кольца должны подходить в распор. После заводки кольца прижимной бурт бандажа обжимают на специальном станке при температуре бандажа не ниже 150° С. Плотность посадки бандажа проверяют по чистому металлическому звуку при ударах молотком. Для контроля сдвига бандажа относительно колесного центра ставят отметки согласно ГОСТ 11018—64.

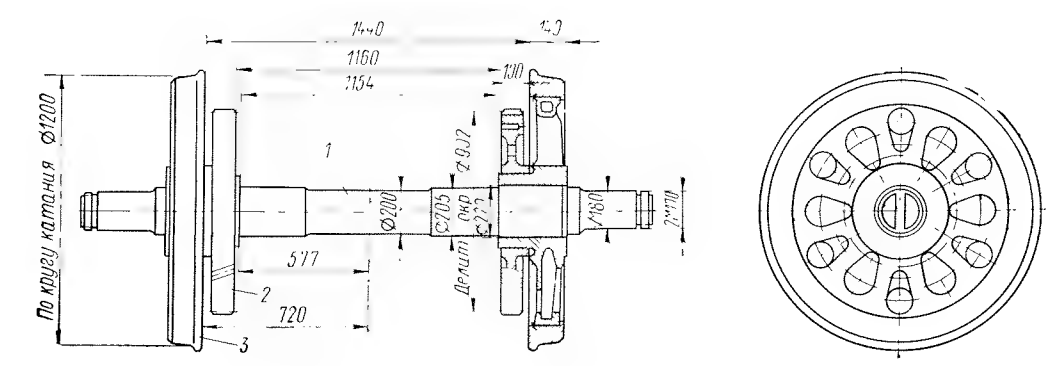


Рис. III-23. Колесная пара электровоза ВЛ8:
1 — ось; *2* — зубчатое колесо; *3* — колесный центр с бандажом

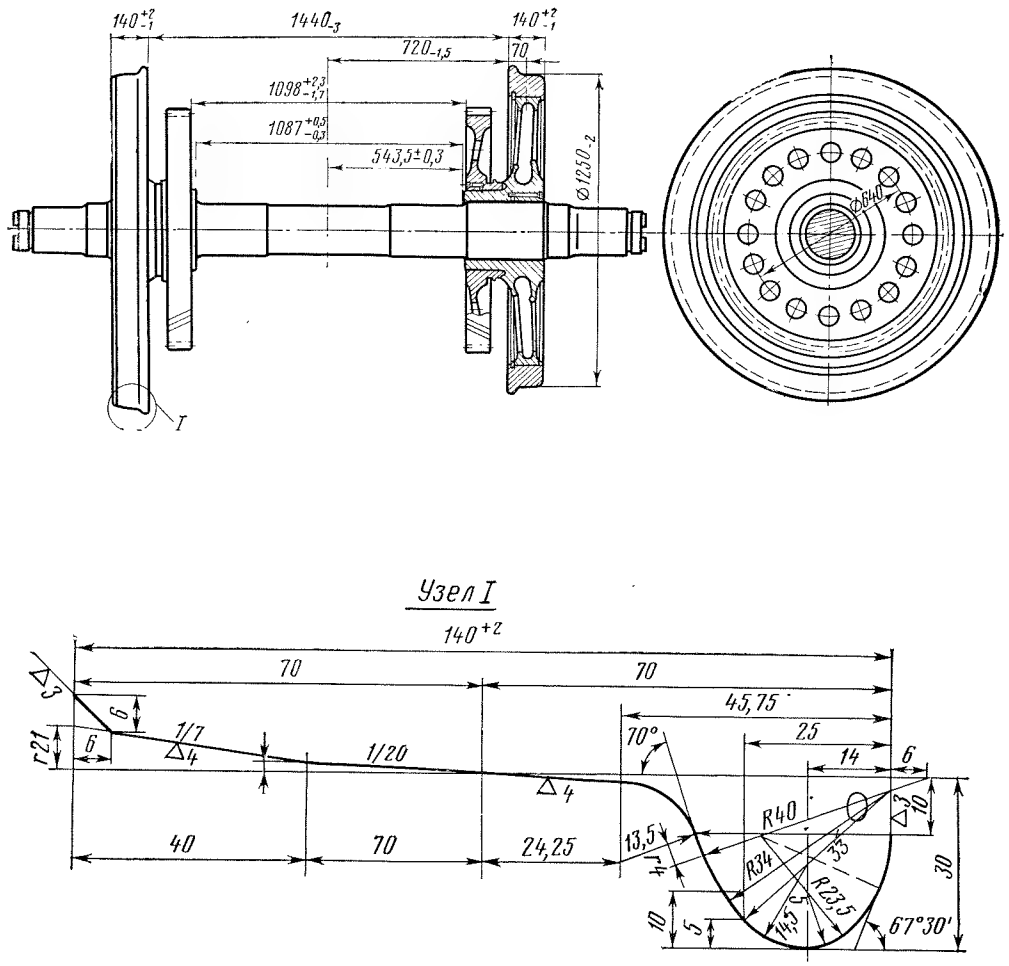


Рис. III-24. Унифицированные колесные пары электровозов ВЛ60к, ВЛ80, ВЛ80к и ВЛ10

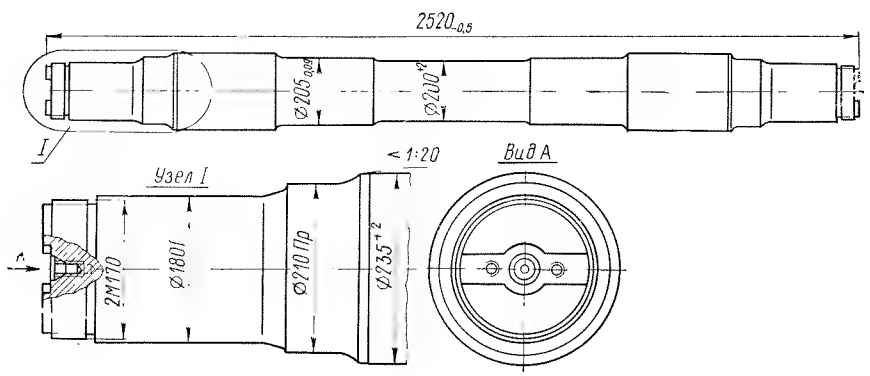


Рис. III-25. Ось унифицированных колесных пар

В отверстие канала в колесной ступице и в зубчатом колесе для подачи масла под давлением с целью уменьшения усилия распрессовки ввинчивают пробку на густотертом сурике.

Колесный центр запрессовывают на ось усилием 110 — 150 тс. Овальность расточки не должна превышать 0,05 мм, а конусность — 0,07 мм в направлении при большем диаметре к внутреннему торцу.

Большое зубчатое колесо электровозов ВЛ60к и ВЛ80к (рис. III-28) напрессовывают на колесный центр в холодном состоянии усилием 50 — 80 тс. Перед запрессовкой посадочные поверхности смазываются чистым растительным маслом (подсолнечным, конопляным или льняным), а привалочные торцовые поверхности — суриком. Между торцовыми поверхностями зубчатого колеса и колесного центра допускается местный зазор не более 0,5 мм на половину глубины общей длиной не более 1/4 окружности. Допускается горячая посадка зубчатого колеса на колесный центр с обязательным соблюдением натяга в пределах 0,20 — 0,28 мм. При этом допускается кольцевой зазор между торцами зубчатого колеса и колесного центра до 0,5 мм, который зашпаклевывают суриком. После горячей посадки зубчатого колеса на ступицу колесного центра прочность соединения проверяют распрессовкой с усилием 30—40 тс.

Колесная пара электровозов ЧС2 (рис. III-29) выполнена для опорно-рамного подвешивания тягового двигателя и имеет одностороннюю зубчатую передачу. Колесный центр отливают с удлиненным конусом, к которому призонными болтами крепят венец зубчатого колеса. Спицевой колесный центр с бандажом напрессовывают с усилием 85 — 115 тс. Для улучшения вписывания в кривые толщина гребня бандажей второй и пятой колесных пар уменьшена до 23 мм.

У колесной пары электровоза ЧС4 (рис. III-30) венец зубчатого колеса крепят призонными болтами к втулке, запрессованной на оси.

При запрессовке колесного центра принят припуск на диаметр оси 1,33 — 1,37 и колесного центра 0,046 мм.

Для осуществления натяга между колесным центром и бандажом даются допуски на диаметр колесного центра +0,15 мм и бандажа от —1,3 до —1,45 мм.

На электровозах ВЛ8 устанавливают осевые буксы с цилиндрическими подшипниками типов ЦКБ552 и ЦКБ553 на горячей посадке (рис. III-31).

Букса поводкового типа принята на электровозах ВЛ60к, ВЛ80, ВЛ80к и ВЛ10 (рис. III-32). Толщина морозостойкой

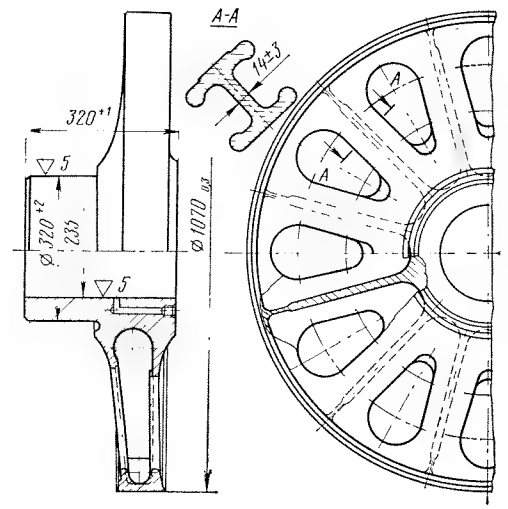


Рис. III-26. Колесный центр унифицированных колесных пар

резины, привулканизированной к металлическим валикам и втулкам буксовых поводков, составляет 15 мм. Торцовые резиновые амортизаторы ставят с предварительным натягом 2 мм. При установке валиков проверяют прилегание его клина в пазах буксы. Допускается прилегание не менее 50% при условии отсутствия зазора в узкой части клина. Болты клина затягивают с усилием до 35 кгс на плече 450 мм. Контроль жесткости буксовых поводков следует проводить на специальном стенде на одной буксе от партии в 30 электровозов, не реже одного раза в месяц. При этом жесткость под нагрузкой 4000 кгс должна быть в продольном направлении — 8000 кгс/мм ± 20%, в поперечном направлении — 800 кгс/мм ± 20%.

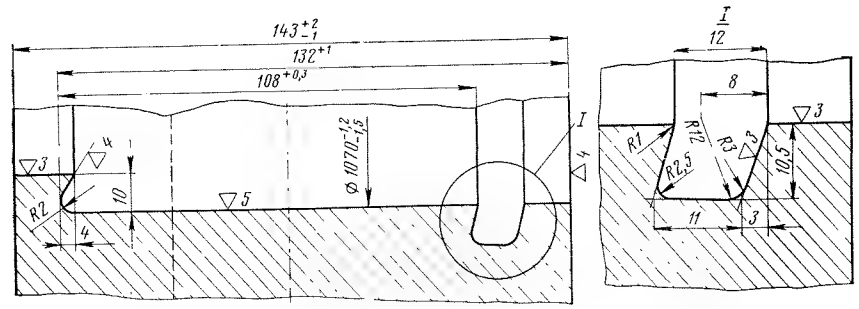


Рис. III-27. Размеры посадочной поверхности локомотивного бандажа

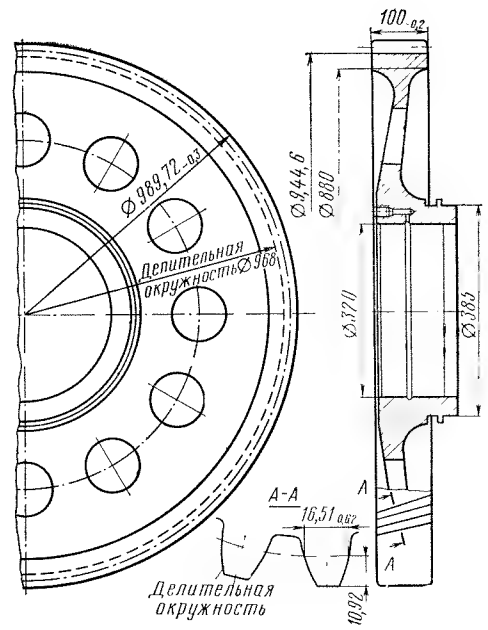


Рис. III-28. Цельнокатаное зубчатое колесо электровозов ВЛ60к и ВЛ80к

На электровозах ВЛ60к, ВЛ80к и ВЛ10 применены цилиндрические подшипники 152536Л и 42836Л, имеющие конические скосы, и подшипники 42536ЛМ и 52535ЛМ. Внутренние кольца подшипников насаживают на шейку оси при нагреве до 120° С в цилиндровом масле при натяге 0,04 — 0,06 мм. Осевой разбег 0,5 — 1,0 мм, радиальный зазор 0,11—0,175 мм.

На электровозах ВЛ60 для улучшения вписывания в кривые на средних колесных парах буксы имеют разбег 15,5 мм на сторону. На электровозах ЧС2 применены буксы с приливами для цилиндрических направляющих цапф, установленных на раме тележки (рис. III-33). В приливах запрессованы резино-металлические блоки с бронзовой втулкой, внутри которой может скользить направляющая цапфа. Букса имеет по одному двухрядному сферическому подшипнику.

На электровозах ЧС4 применены поводковые буксы (см. рис. III-14) с двумя однорядными цилиндрическими подшипниками (рис. III-34). Резиновые элементы сайлентблоков в поводках обеспечивают поперечное смещение колесной пары относительно рамы тележки с жесткостью 800 кгс/мм и в продольном направлении 7000 кгс/мм.

Тяговые передачи электровозов ВЛ60к, ВЛ80к и ВЛ10 с опорно-осевым подвешиванием тяговых двигателей — двусторонние. Большие зубчатые колеса этих электровозов (см. рис. III-28) изготовляют в соответствии с ТУ ОТН 552008—63 из стали 55, которая должна быть раскислена феррованадием. Заготовка зубчатого колеса должна соответствовать требованиям IV группы ГОСТ 8479—70. Величина зерна стали не должна быть больше № 5 ГОСТ 5639—65. Заготовку подвергают объемной закалке с высоким отпуском. При этом твердость после закалки и отпуска должна быть в пределах НВ 280—310. Диаметр внутренней поверхности подбирают по диаметру колесного центра из условия получения усилия запрессовки 50—80 тс.

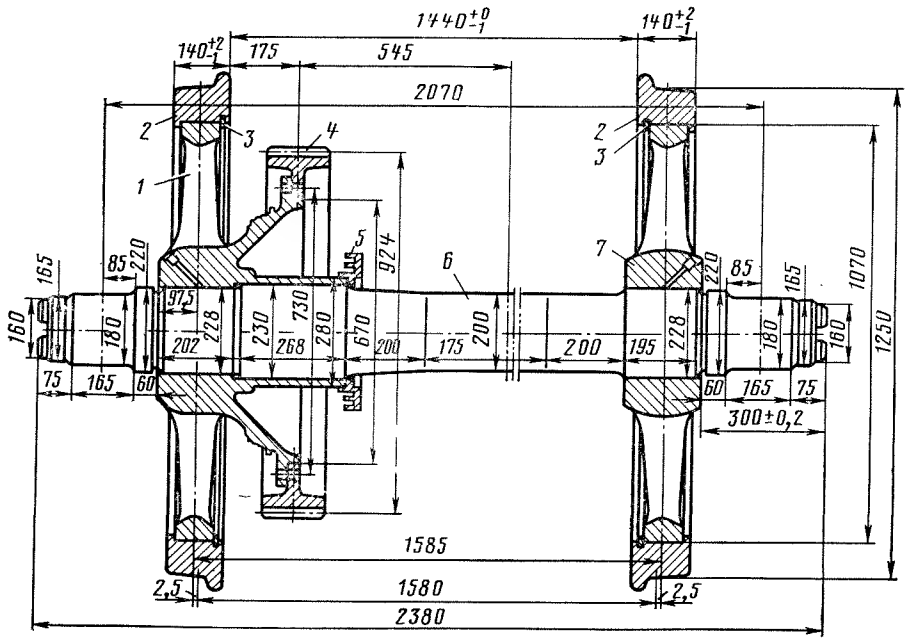


Рис. III-29. Колесная пара электровоза ЧС2:
1 — колесный центр с удлиненной ступицей; 2 — бандаж; 3 — укрепляющее кольцо; 4 — зубчатое колесо; 5 — лабиринтное кольцо; 6 — ось; 7 — колесный центр

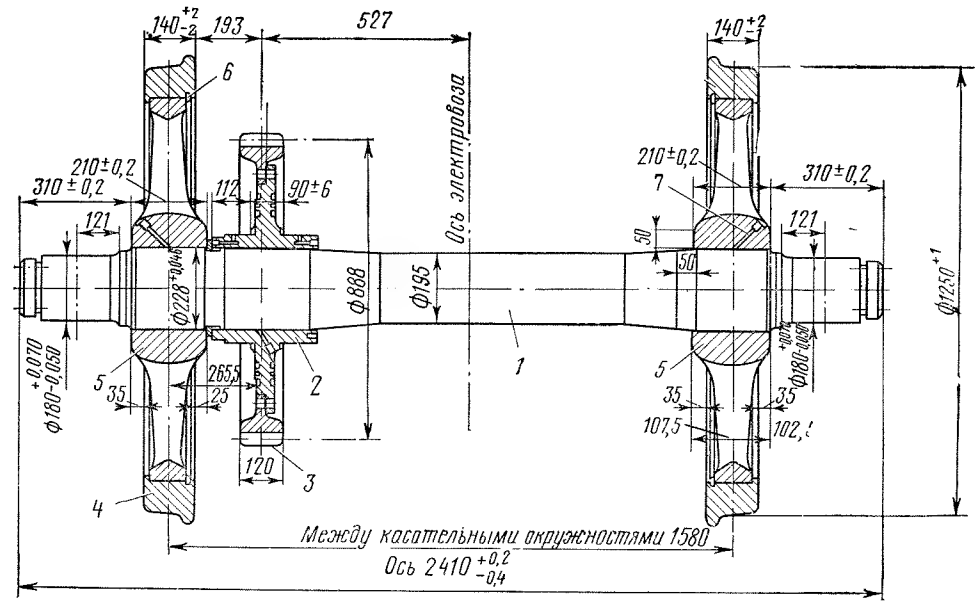


Рис. III-30. Колесная пара электровоза ЧС4:
1 — ось; 2 — втулка зубчатого колеса; 3 — большое зубчатое колесо; 4 — бандаж; 5 — колесный центр; 6 — фиксирующие кольца; 7 — канал под масло

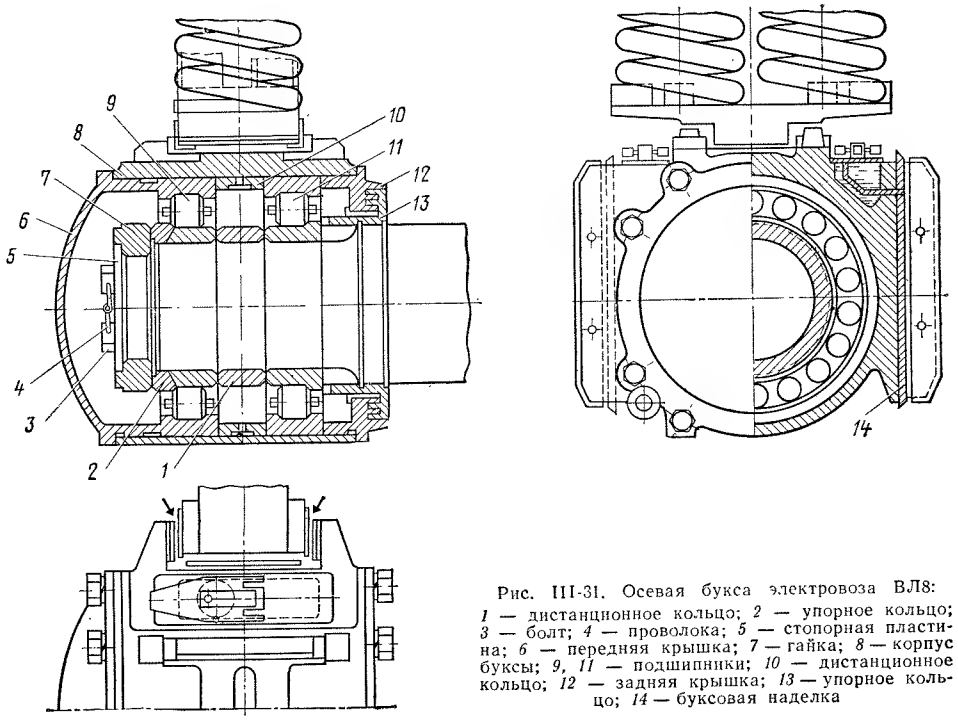


Рис. III-31. Осевая букса электровоза ВЛ8:
1 — дистанционное кольцо; 2 — упорное кольцо; 3 — болт; 4 — проволока; 5 — стопорная пластина; 6 — передняя крышка; 7 — гайка; 8 — корпус буксы; 9, 11 — подшипники; 10 — дистанционное кольцо; 12 — задняя крышка; 13 — упорное кольцо; 14 — буксовая наделка

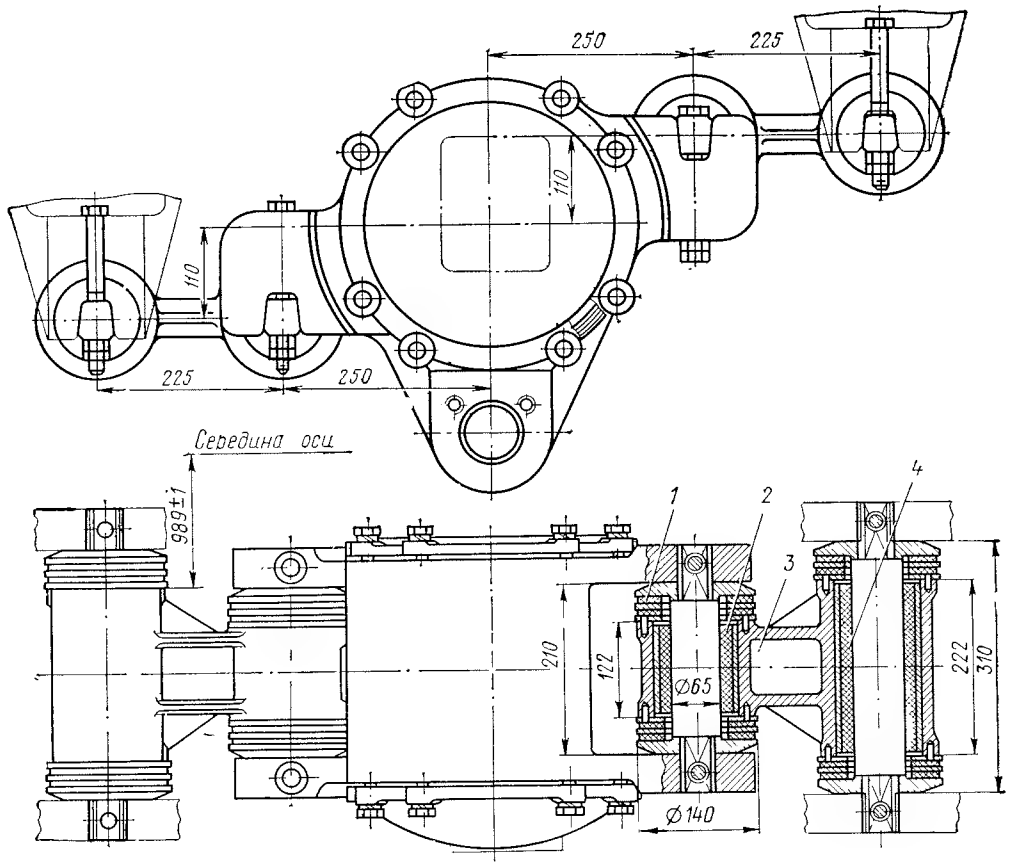


Рис. III-32. Поводковая букса колесных пар электровозов ВЛ60, ВЛ80к и ВЛ10:
1 — амортизатор; *2, 4* — сайлентблоки; *3* — тяга

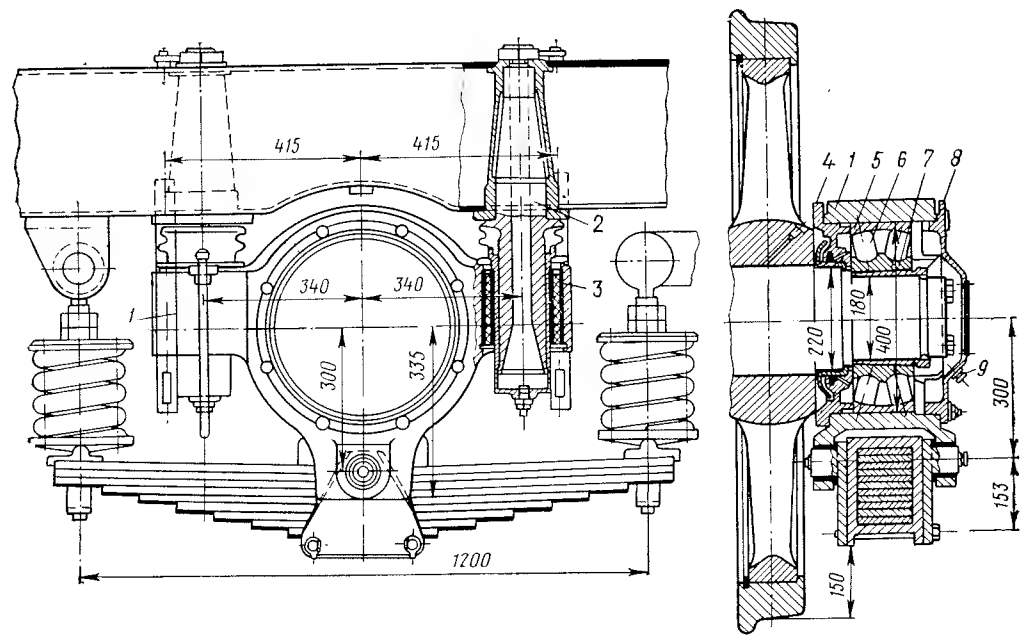


Рис. III-33. Осевая букса электровоза ЧС2:
1 — корпус буксы; *2* — цапфа; *3* — резино-металлический блок; *4* и *8* — крышки; *5* — наружное кольцо; *6* — ролик; *7* — внутреннее кольцо; *9* — дополнительная крышка

Все зубья зубчатого колеса после нарезки проверяют на отсутствие трещин магнитным дефектоскопом. Трещины не допускаются. Каждое зубчатое колесо на внутренней торцовой поверхности венца *В* подлежит маркировке согласно «Инструкции по освидетельствованию, ремонту и формированию колесных пар локомотива и электросекций» ЦТ/2306 1964 г. Перенос клейм в процессе изготовления контролируется и заверяется ОТК.

Материалом шестерен электровозов ВЛ60к (рис. III-35, *а*) и ВЛ80к (рис. III-35, *б*) служит сталь 37ХН 3А или 20ХН3А ГОСТ 4543—71. Шестерни изготовляют в соответствии с ТУ ОТН 552-002—63. Заготовка должна соответствовать требованиям ГОСТ 8479—70. Величина зерна стали не должна быть больше № 5 ГОСТ 5639—73.

Обработанную коническую поверхность проверяют конусным калибром по краске, при этом прилегание поверхности должно быть не менее 85%, а пятна краски должны равномерно располагаться по всему конусному отверстию.

Рабочие поверхности зубьев, впадин и торцы шестерни подвергают цементации или нитроцементации с последующей закалкой до твердости HRC 56 (табл. III-2).

После окончательной механической обработки глубина цементации (нитроцементации) должна быть 2 ± 0,4 мм. Цементация или нитроцементация конусного отверстия не допускается. Отклонение от глубины цементированного или нитроцементированного слоя не должно превышать ±0,2 мм на одной и той же шестерне. Сетка структурно-свободного цементита в цементированном слое не допускается. Глубину, конфигурацию и твердость зоны цементации или нитроцементации проверяют на одной шестерне из 150 штук на

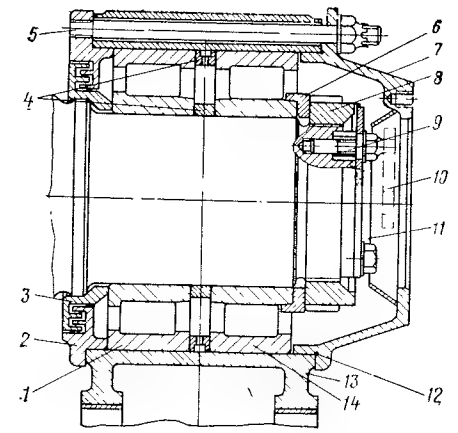


Рис. III-34. Поводковая букса электровоза ЧС4:
1 — задний подшипник; *2* — задняя крышка; *3* — лабиринтное кольцо; *4* — проставочное кольцо; *5* — шпилька; *6* — упорное кольцо; *7* — передняя крышка; *8* — стопорная гайка; *9* — болт; *10* — привод скоростемера; *11* — фиксирующая планка; *12* — уплотняющий шнур; *13* — корпус буксы; *14* — передний подшипник

Таблица III-2

Основные данные зубчатой передачи электровозов

Показатели	Электровозы серии		
	ВЛ60, ВЛ10	ВЛ80, ВЛ80к	ЧС2
Межцентровое расстояние, мм	617,5	594	726
Угол исходного контура режущего инструмента	20°	20°	20°
Угол зацепления передачи в торцовом сечении	23°23′18″	23°06′30″	—
Угол наклона зубьев по делительному цилиндру	24°37′12″	24°37′12″	—
Нормальный модуль, мм	10	10	12
Торцовый модуль, мм	11	11	—
Ширина зубчатых колес, мм	100	100	160
Боковой зазор между зубьями, мм	0,34—0,67	0,34—0,67	0,3—0,5
Диаметр делительной окружности в торцовом сечении, мм:			
шестерни	253	209	524
колеса	968	968	928
Твердость поверхности зубьев:			
шестерни	HRC 56—63	HRC 56—63	HRC 54—60
колеса	HB 280—310	HB 280—310	HRC 52—56
Глубина закаленного слоя зубьев, мм:			
шестерни	1,6—2,4	1,6—2,4	1,5—2,5
колеса	—	—	1,5—2,5
Вид термообработки зубьев:			
шестерни	Цементация		Закалка токами высокой частоты
колеса	Объемное улучшение		То же

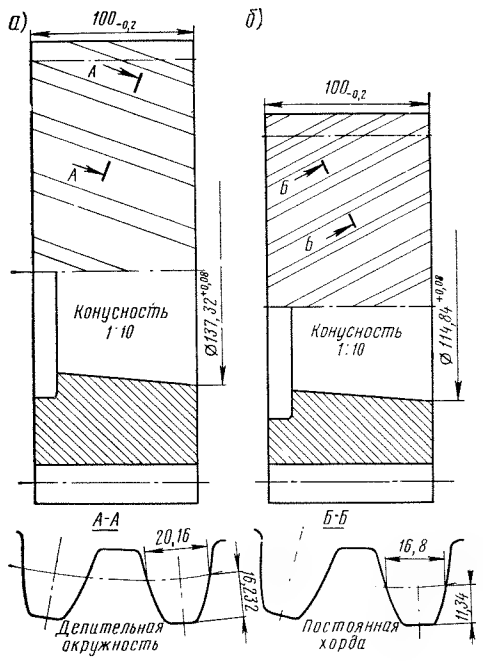


Рис. III-35. Шестерни электровозов ВЛ60 (*а*) и ВЛ80к (*б*)

сошлифованном зубе. Выборочный контроль механических свойств производится на одной шестерне от партии 500 штук. Все зубья после шлифовки следует проверить на отсутствие трещин магнитным дефектоскопом. Трещины не допускаются.

Каждую шестерню на торцовой поверхности *С* маркируют согласно требованию «Инструкции по освидетельствованию, ремонту и формированию колесных пар локомотивов и электросекций» ЦТ/2306 1964 г. Перенос клейм в процессе изготовления контролируется и заверяется ОТК.

III-2. КУЗОВА ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Кузов электровозов ВЛ60 и ВЛ60п с автосцепкой и несущей рамой (рис. III-36) охватывающего тележку типа. Боковины рамы кузова сварены из листовой стали высотой 900 мм и толщиной 8 мм верхнего швеллера № 16 а и нижнего № 30 с, расположенного на высоте автосцепки.

Кузов электровоза ВЛ8 (рис. III-37) двухсекционный с несущей рамой не охватывающего тележку типа из стали Ст3 ГОСТ 380—71. Материал для обшивки кузова — сталь IV. Н-15 кп ГОСТ 9045—70.

Кузова электровозов ВЛ80к, ВЛ80т, ВЛ82 и ВЛ10 (рис. III-38) двухсекционные, секции соединяются автосцепкой. Рама кузова (рис. III-39) несущая. Боковины кузовной рамы того же сечения, что и у электровозов ВЛ60 и ВЛ60п, шкворневые балки несут шкворни. Все несущие элементы рамы кузовов электровозов ВЛ60, ВЛ60п, ВЛ80к и ВЛ10 изготовляют из стали Ст3 или стали М16С ГОСТ 6713—53.

III-3. ТЕЛЕЖКИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Тележки моторных вагонов электропоездов ЭР2 (ЭР9П) с увеличенным статическим прогибом рессорного подвешивания (рис. III-40 и табл. III-3) изготовляют в соответствии с ГОСТ 10527—70. Тележки, подкатываемые под шкафной и тамбурный концы вагона, различаются пружинными комплектами буксового подвешивания и наличием рычажного привода ручного тормоза у тележки, подкатываемой под тамбурный конец вагона.

Конструкцию тележки моторного вагона электропоезда ЭР22 поясняет рис. III-41. На этой тележке применена поводковая букса, гидравлические гасители колебаний *3* установлены вертикально. Кроме того, в центральном подвешивании применены фрикционные гасители *14* для демпфирования колебаний относа и виляния. Передняя тележка моторного вагона ЭР22 отличается от задней установкой на ней приемных катушек автоматической локомотивной сигнализации АЛС и наличием рычажного привода ручного тормоза. Кроме того, на буксах этой тележки установлено дополнительно следующее оборудование: с правой стороны по ходу поезда на передней колесной паре — червячный редуктор скоростемера СЛ-2М, на задней — генератор скоростемера; с левой стороны тележки на обеих буксах — осевые датчики противоюзного устройства. В остальном передняя и задняя тележки взаимозаменяемы.

Рамы тележек моторных вагонов электропоездов ЭР2 и ЭР9П сварные, «открытого» Н-образного типа (рис. III-42). Рамы тележек моторных вагонов ЭР22 (рис. III-43), ЭР2 и ЭР9П отличаются только конструкцией продольных балок. Материалом для изготовления большинства деталей рамы является малоуглеродистая сталь марки ВМ Ст3сп.

Продольные балки *1* сварены из двух штампованных профилей швеллерообразного сечения с толщиной стенки 12 мм и усилены вваренными внутрь диафрагмами из стального листа. Поперечные балки *2* рам тележек также выполнены сварными коробчатого сечения. Стыки продольных балок с поперечными усилены накладками из стального листа толщиной 12 мм на рамах тележек ЭР2 и ЭР22 и 14 мм на рамах тележек ЭР9П.

С 1972 г. начат выпуск усиленных рам тележек ЭР22, у которых высота сечения поперечных балок увеличена со 140 до 160 мм и толщина листа с 10 до 12 мм. Кроме того, на этих балках применен усиленный кронштейн подвески редуктора. На боковинах изменены конструкции коробок для упоров рессорных подвесок; они такие же, как и на рамах тележек ЭР2 и ЭР9.

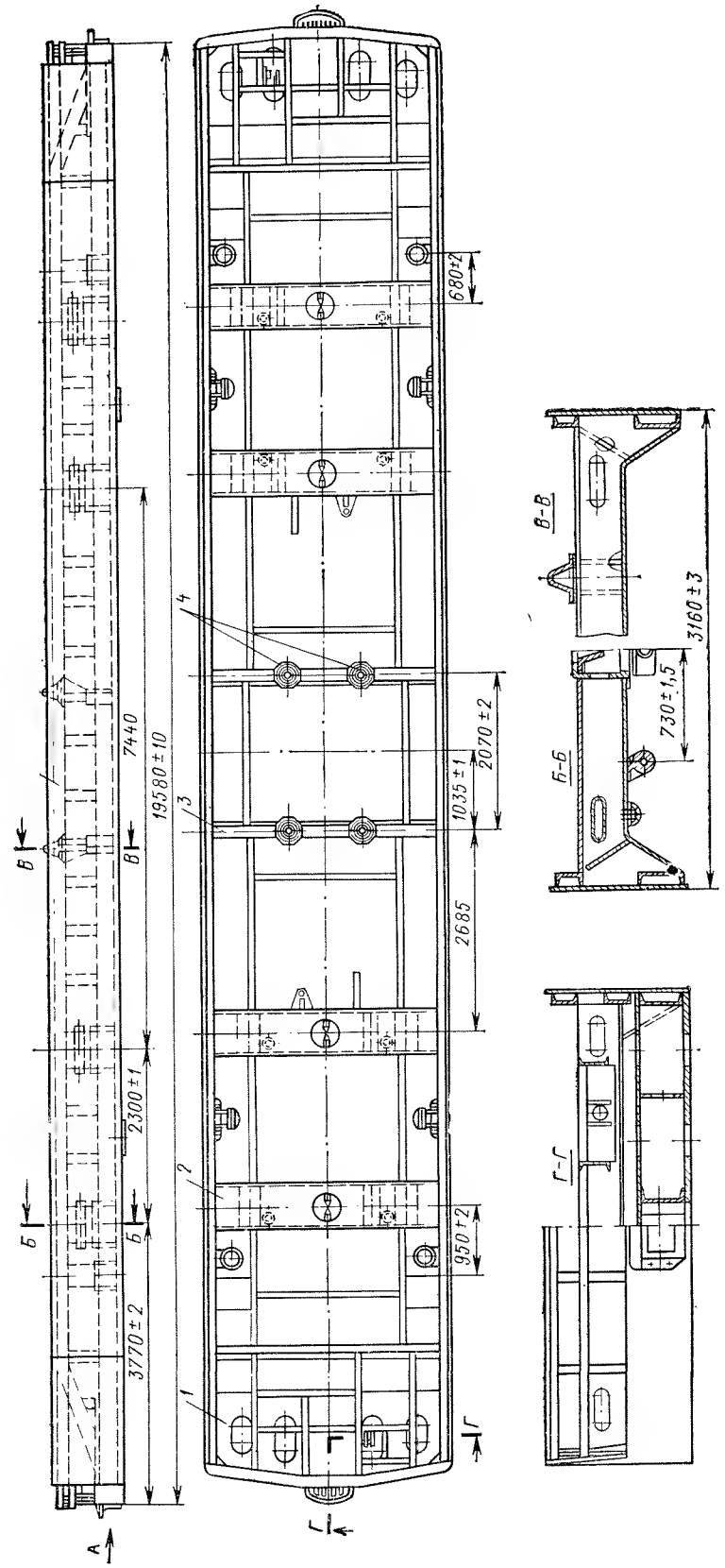


Рис. III-36. Рама кузова электровозов ВЛ60 и ВЛ60п:
1 — буферный брус; *2* — балка под маятниковую опору; *3* — балка под трансформатора; *4* — опоры трансформатора

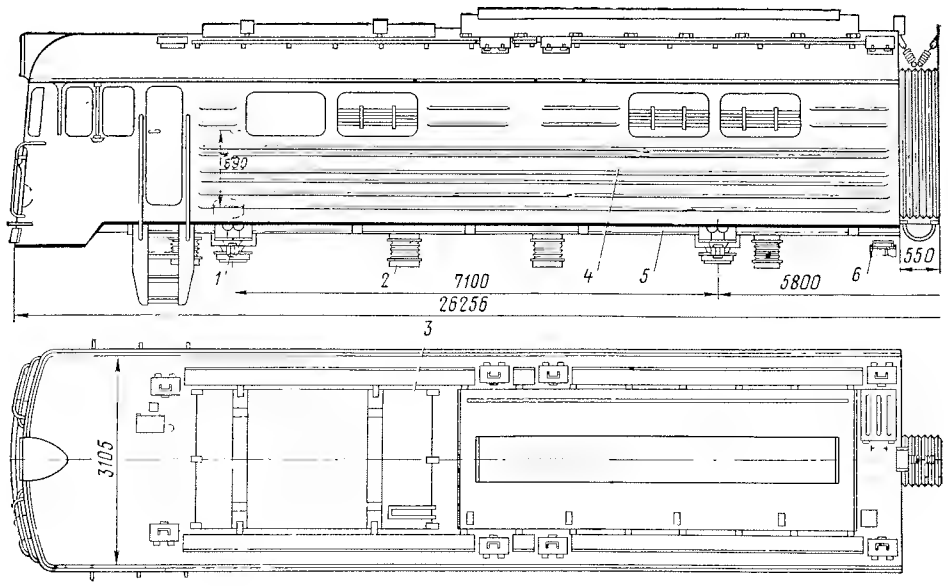


Рис. III-37. Секция кузова электровоза ВЛ8:
1 — центральная пята; *2* — вентиляционный патрубок; *3* — крышка люка; *4* — обшивка боковых стен; *5* — рама кузова; *6* — дополнительная опора

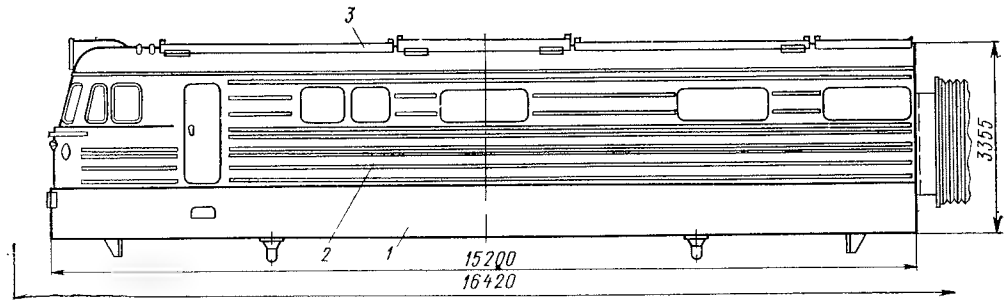


Рис. III-38. Секция кузова электровоза ВЛ80к:
1 — рама кузова; *2* — боковая стенка; *3* — крышка люка

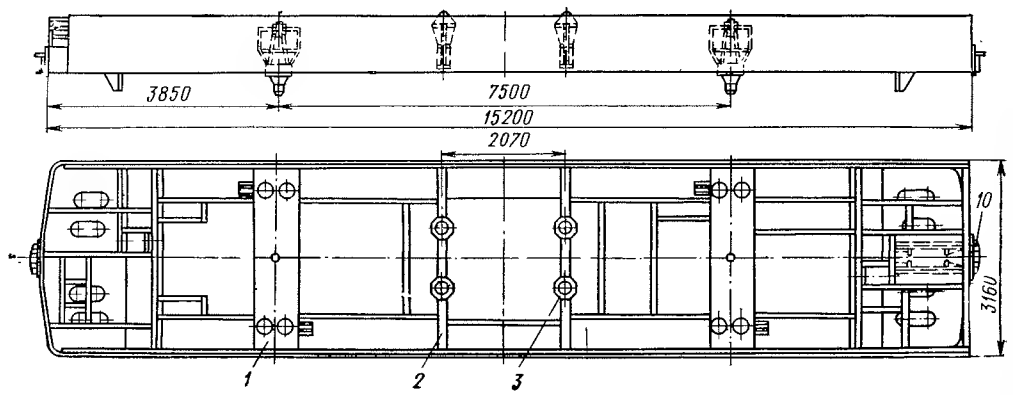


Рис. III-39. Рама кузова электровоза ВЛ80к:
1 — шкворневая балка; *2* — балка под трансформатор; *3* — опоры трансформатора

Таблица III-3

Основные технические данные моторных тележек электропоездов

Показатели	Электропоезда серии		
	ЭР2	ЭР9	ЭР22
Масса моторной тележки с тяговыми двигателями и колесными парами, т	13,85	14	14,4*/14,2
База тележки, мм	2600±3	2600±3	2750
Диаметр новых колес по кругу катания, мм	1050^{+14}	1050^{+14}	1050^{+14}
Число тяговых двигателей на тележке	2	2	2
Высота приемной катушки локомотивной сигнализации от головки рельса, мм	163^{+17}_{-8}	163^{+17}_{-8}	163^{+17}_{-8}
Расстояние между головкой рельсов и нижней точкой кожуха редуктора при новых бандажах не менее, мм	120	120	125
Расстояние между осями пружин буксового и центрального подвешивания (поперечное), мм	2130	2130	2130
Коэффициент затухания гидравлических гасителей, тс·с²/м:			
на тележку	18,4	18,4	18,4
на вагон	36,8	36,8	36,8
Сила трения фрикционных гасителей, кгс:			
на тележку	1200	1200	1200
на вагон	2400	2400	2400
Масса колесной пары с редуктором и буксами, т	2,25	2,25	2,65
Момент инерции тележки, тс·м/с², вокруг оси:			
X	0,49318	—	0,766
У	0,658	—	1,050
Z	2,263	—	2,593
Момент инерции колесной пары, тс·м/с², вокруг оси:			
X	—	—	0,230
У	—	—	0,0048
Z	—	—	0,230
Жесткость центрального подвешивания, кгс/мм:			
на тележку	194,2	260,2	215,6
на вагон	388,4	520,4	431,2
Жесткость буксового подвешивания, кгс/мм:			
на колесо	147,0	147,0	197,5
на колесную пару	294,0	294,0	395,0
на тележку	588,0	588,0	690,0
Статический прогиб рессорного подвешивания под нагрузкой от тары вагона, мм	120,2	—	130
Распределение статического прогиба между буксовым и центральным подвешиванием, %	~30 : 70	—	26:74

* В числителе приведен вес передней, в знаменателе — задней тележки.

На прицепных вагонах, начиная с поезда № 022, применены тележки типа КВЗ-5/Э, а на поездах ЭР2 и ЭР9П с увеличенным статическим прогибом — типа КВЗ-ЦНИИ/Э (рис. III-44 и табл. III-4).

Прицепные вагоны электропоезда ЭР22 оборудованы тележками типа ТЭК-II-36 (рис. III-45 и табл. III-4), на которых в отличие от тележек КВЗ-ЦНИИ/Э применены четыре гидравлических гасителя в центральном подвешивании и дисковые тормоза на осях колесных пар. Передняя тележка КВЗ-ЦНИИ/Э головных вагонов ЭР2 и ЭР9 отличается от задней установкой на ней приемных катушек автоматической локомотивной сигнализации, редуктора привода скоростемера. Кроме того, на буксах передней колесной пары этой тележки имеются следующие дополнительные приборы: справа — червячный редуктор привода механического регистрирующего скоростемера СЛ-2М (на одном головном вагоне), а слева — генератор электрического скоростемера (на обоих головных вагонах).

Рамы тележек КВЗ-ЦНИИ/Э прицепных вагонов открытого Н-образного профиля (рис. III-46). Боковины рамы выполнены сварными из двух швеллеров № I-20В-I и усилены сверху и снизу накладками из листовой стали толщиной 14 мм. Вблизи отверстий для пропуска

рессорных подвесок балки усилены дополнительными, овальными накладками. На концах боковин приварены фланцы, к которым болтами крепят шпинтоны, центрирующие пружины буксового подвешивания.

Разность в величине базы на двух боковинах одной и той же тележки допускается не более 2 мм.

Поперечные балки коробчатого сечения сварены из листовой стали, причем вертикальные листы имеют толщину 8 мм, горизонтальные — 10 мм.

Рамы тележек ТЭК-II-37 имеют замкнутый профиль. Их концевые балки, предназначенные для установки деталей тормозной рычажной передачи с дисковым тормозом (тормозных цилиндров и кронштейнов крепления тормозных рычагов), соединяют боковины. Эти балки сварены из двух штампованных профилей корытообразного сечения толщиной 14 мм. Накладки, усиливающие продольные балки, имеют толщину 16 мм. В средней части балки сделаны отверстия для валиков крепления рессорных подвесок. Стенки швеллеров боковин около отверстия усилены изнутри накладками, толщина которых 14 мм. В эти накладки вварены кольца для валиков.

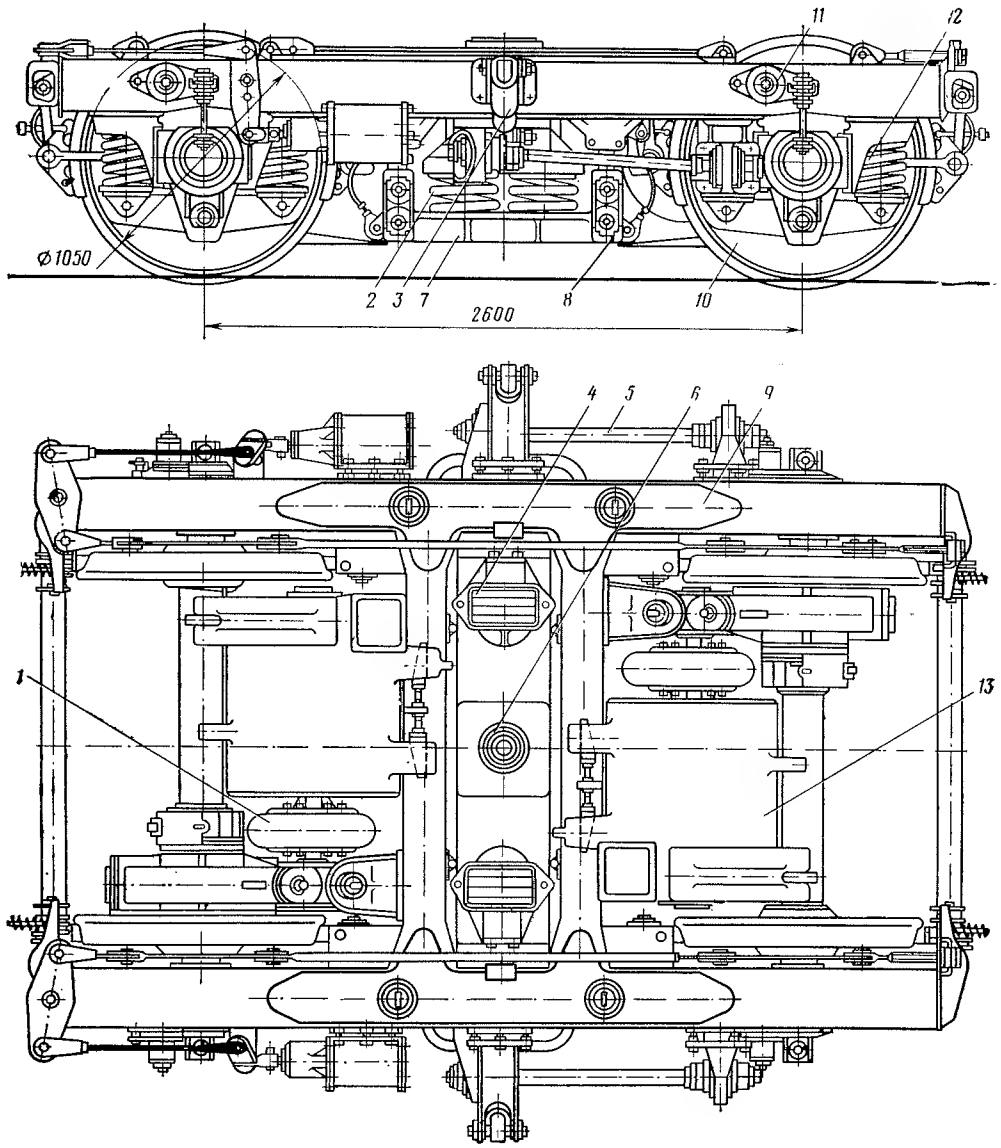


Рис. III-40. Тележка моторного вагона электропоезда ЭР2:
1 — муфта тягового привода; *2* — пружины центрального подвешивания; *3* — гидравлические гасители центрального подвешивания; *4* — боковые скользуны; *5* — тяговые поводки; *6* — шкворень; *7* — поддон; *8* — рессорные подвески; *9* — рама; *10* — колесные пары с редукторами и буксовыми узлами; *11* — фрикционные гасители буксового подвешивания; *12* — пружины буксового подвешивания; *13* — тяговые двигатели

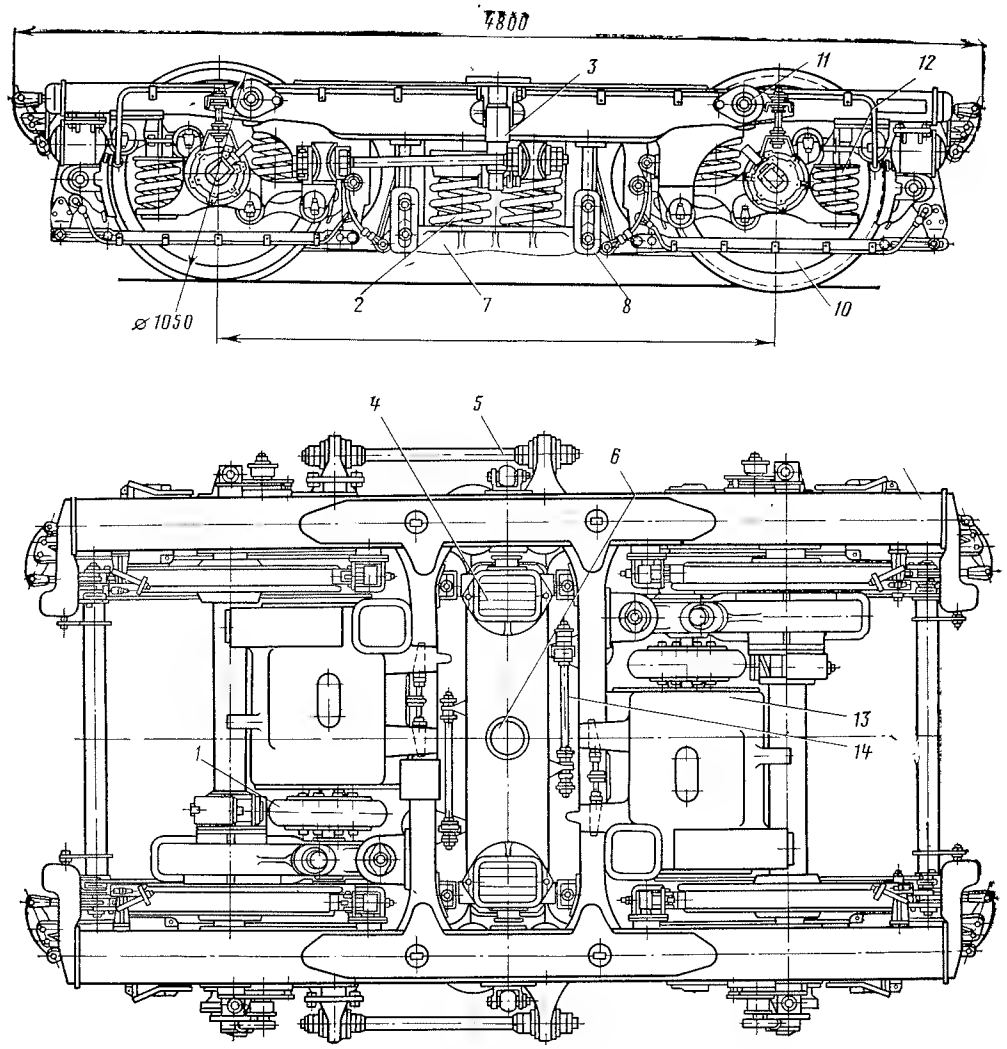


Рис. III-41. Тележка моторного вагона электропоезда ЭР22:
поз. *1—13* — те же, что на рис. III-40; *14* — фрикционный гаситель центрального подвешивания

Рессорное подвешивание электропоездов всех типов выполнено двухступенчатым, состоящим из буксового и центрального подвешивания. Буксовое подвешивание практически одинаково у всех электропоездов. В него входят винтовые цилиндрические пружины (табл. III-5 и III-6), фрикционные гасители и резиновые прокладки, предназначенные для поглощения высокочастотных вибраций и снижения шумов.

В буксовом узле применены цилиндрические роликовые подшипники типов 3Н232726Л1 и 3Н42726Л. Фрикционный гаситель поворотного типа выполнен из фрикционного материала КФ-2 по ГОСТ 1786—74.

Буксовое подвешивание электропоезда ЭР22 бесчелюстное; продольные и поперечные силы от колесной пары к раме тележки (и в обратном направлении) передаются через тяговые поводки (см. рис. III-47, *б*).

Валик и металлическая втулка тягового поводка привулканизированы к резиновой втулке из резины марки 1847; прочность крепления резины к металлу на отрыв должна быть не менее 20 кгс/см^2. Испытания валика проводят осевой нагрузкой 2000 кгс, при этом резина не должна отслаиваться от металла.

Поводки с резино-металлическими втулками обладают осевой и радиальной гибкостью и, работая параллельно с буксовыми пружинами, обеспечивают возможность перемещения колесной пары относительно рамы тележки в продольном направлении не выше 0,85 мм и в поперечном — не выше 7,5 мм. Такая подвижность колесных пар снижает уровень поперечных и продольных нагрузок, передавае-

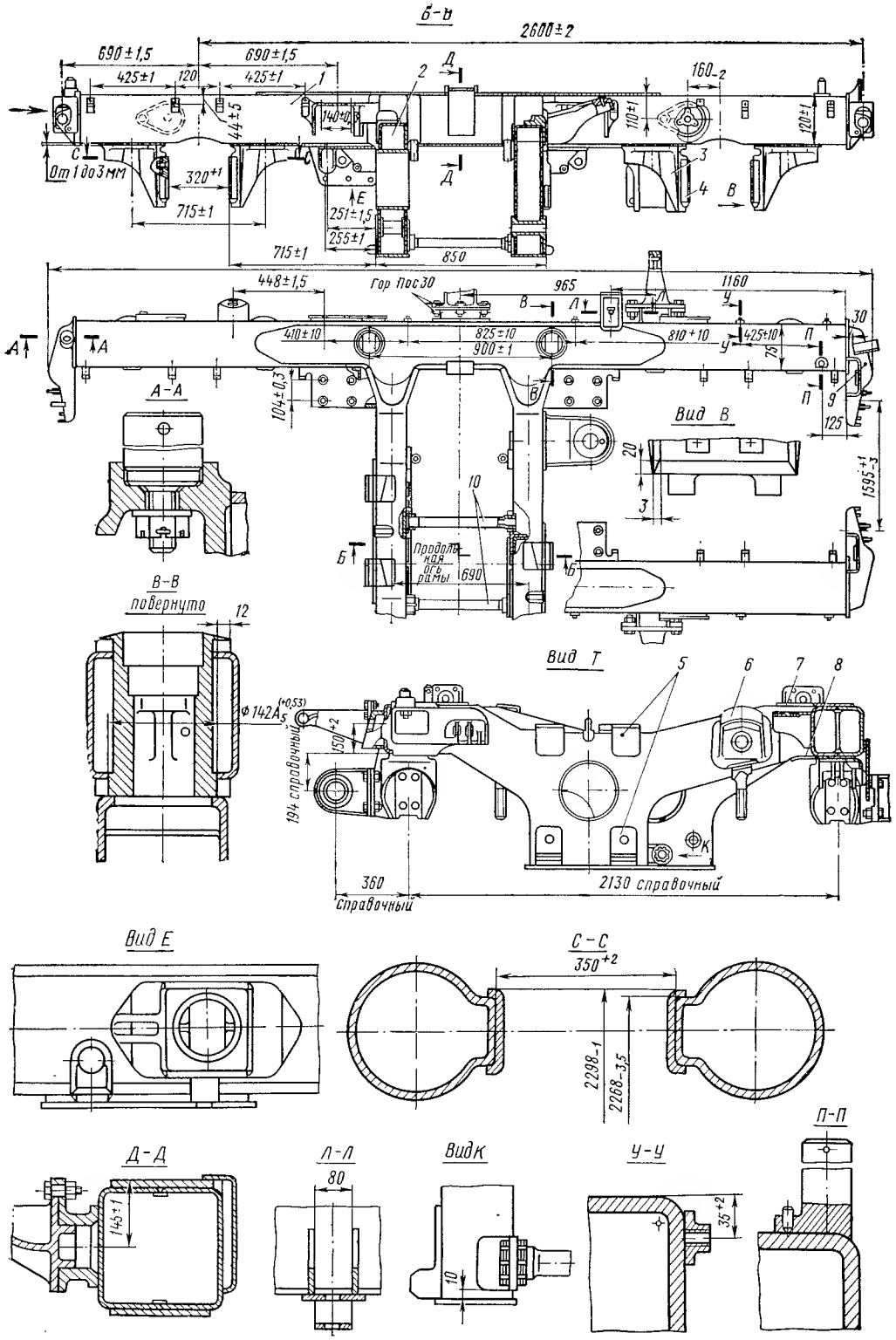


Рис. III-42. Рама тележки моторного вагона электропоездов ЭР2 и ЭР9П:
1 — продольные балки (боковины); *2* — поперечные балки; *3* — буксовые направляющие; *4* — наличники из антифрикционного чугуна; *5* — опоры для крепления двигателя; *6* — кронштейн подвески редуктора тягового привода; *7* и *8* — верхняя и нижняя накладки; *9* — концевые балки для подвески тормозных башмаков и тормозной траверсы; *10* — стяжки

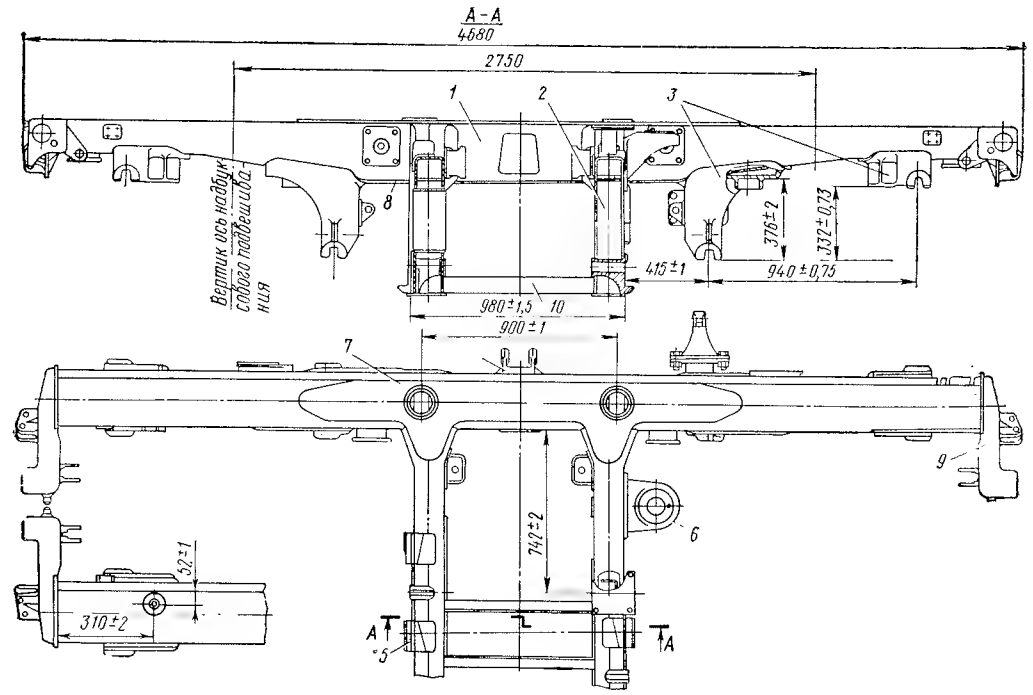


Рис. III-43. Рама тележки моторного вагона электропоезда ЭР22:
поз. *1—3* и *5—10* те же, что и на рис. III-42

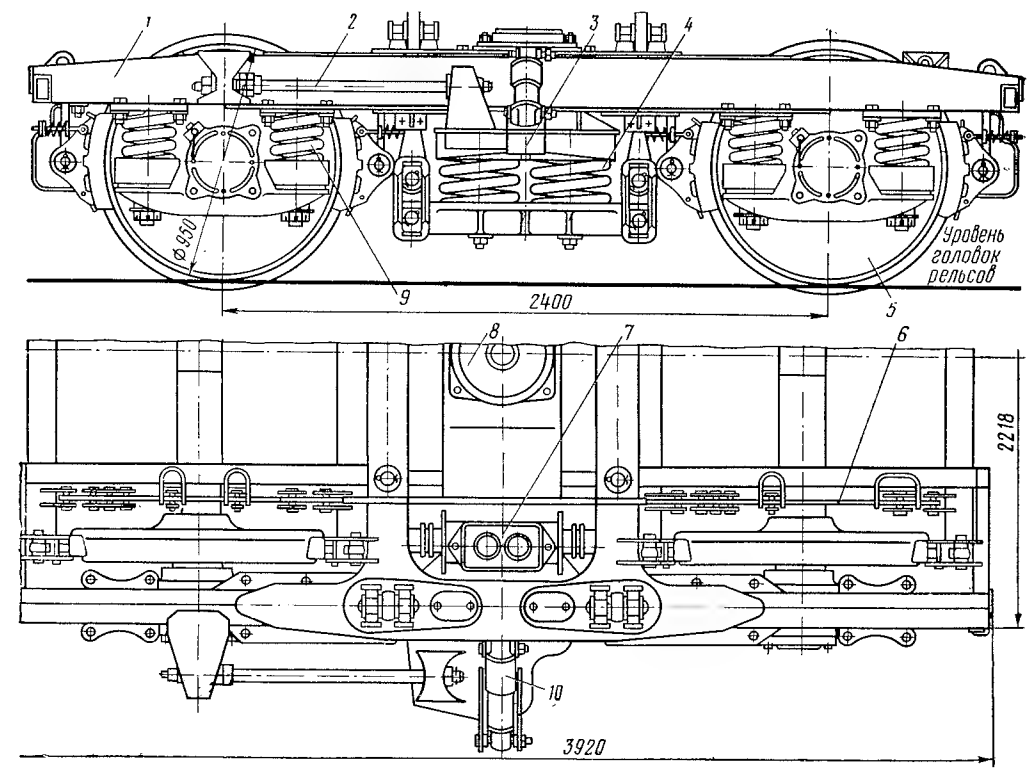


Рис. III-44. Тележка типа КВЗ-ЦНИИ/Э прицепного вагона:
1 — рама; *2* — тяговые поводки; *3* — центральное подвешивание; *4* — пружина центрального подвешивания; *5* — колесная пара; *6* — тормозная рычажная передача; *7* — скользуны; *8* — пятник; *9* — пружины буксового подвешивания; *10* — гидравлический гаситель

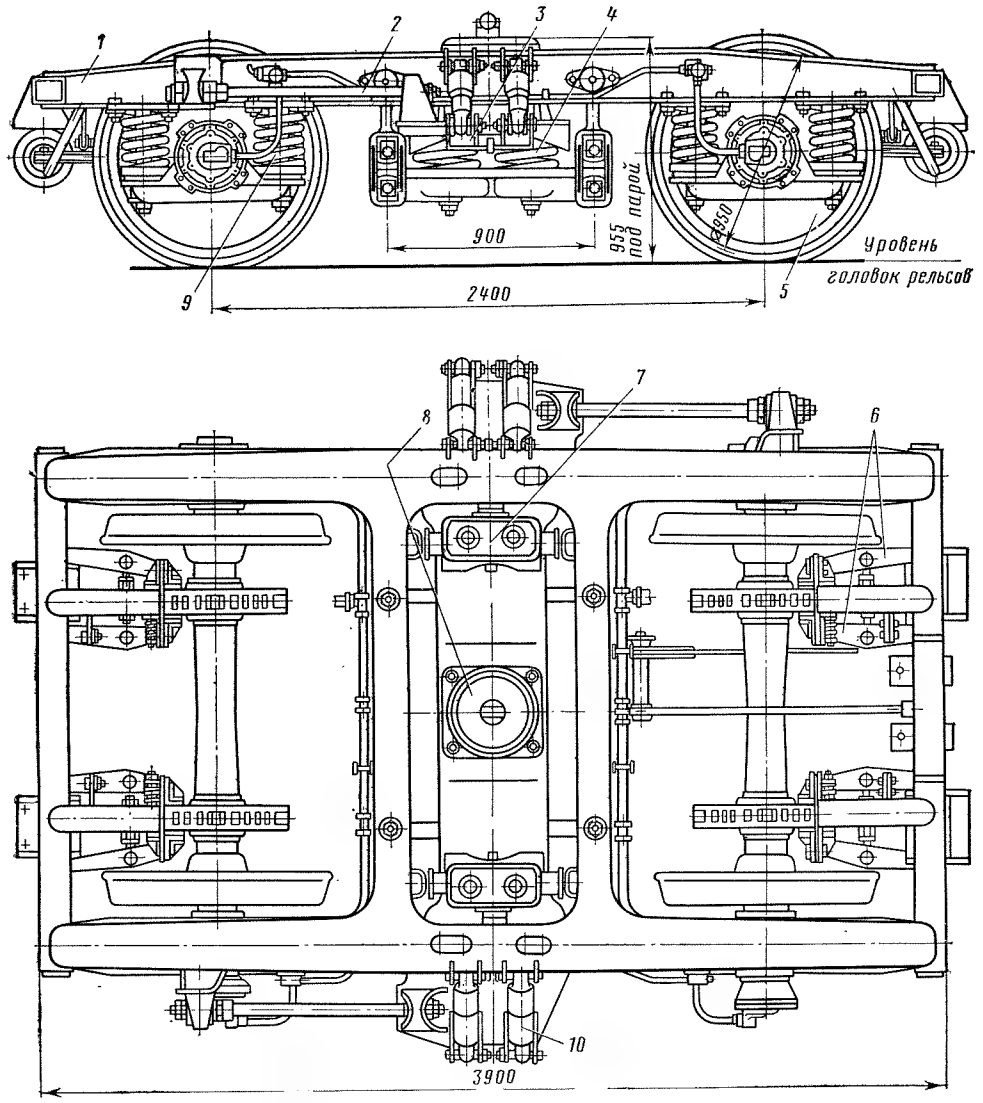


Рис. III-45. Тележка типа ТЭК-II-37 прицепного вагона:
поз. *1—10* — те же, что и на рис. III-44

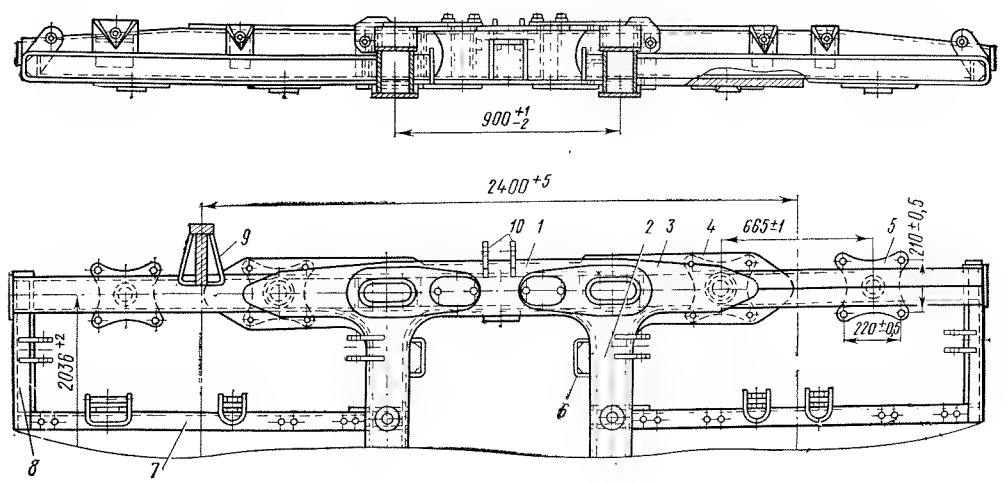


Рис. III-46. Рама тележки КВЗ-ЦНИИ/Э:
1 — боковина; *2* — поперечная балка; *3* и *4* — верхняя и нижняя накладки; *5* — фланец шпинтона; *6* — скоба упора боковых скользунов; *7* — швеллер; *8* — концевая балка; *9* — кронштейн тягового поводка; *10* — кронштейны гидравлического гасителя

Таблица III-4

Основные технические данные тележек прицепных вагонов электропоездов

Показатели	Тележка	
	КВЗ-ЦНИИ/Э	ТЭК-II-37
Масса тележки с колесными парами, т	6,8* / 6,6	7,0
База тележки, мм	2400^{+5}	2400^{+5}
Диаметр новых колес по кругу катания, мм	950^{+14}	950^{+14}
Высота катушки локомотивной сигнализации от головки рельса, мм	163^{+17}_{-8}	163^{+17}_{-8}
Поперечное расстояние между осями пружин, мм	2036 ± 2	2036 ± 2
Масса колесной пары, т	1,214	1,46
Жесткость центрального подвешивания, кгс/мм:		
на одну тележку	137,5 / 137	132,35
» вагон	275 / 274	264,7
Жесткость буксового подвешивания, кгс/мм:		
на одну тележку	467,3 / 458	465,5
» вагон	934,6 / 916	931
Статический прогиб рессорного подвешивания под брутто кузова, мм	204,5 / 207,8	212
Распределение статического прогиба между буксовым и центральным подвешиванием, %	~23 : 77	23 : 77

* В числителе указаны данные передней тележки головного вагона; в знаменателе — задней тележки и тележек прицепных вагонов.

Таблица III-5

Основные технические данные буксовых пружин моторных вагонов электропоездов

Показатели	Электропоезда			Показатели	Электропоезда		
	ЭР2 и ЭР9	ЭР22			ЭР2 и ЭР9	ЭР22	
		наружная	внутренняя			наружная	внутренняя
Число витков:							
рабочих	4,4	3,2	4,6	Диаметр прутка, мм	40	36	30
полное	5,9	4,7	6,1	Средний диаметр пружины, мм	200	240	164
Высота, мм:							
свободная	309	274	264	Шаг, мм	61	74,4	50,8
под тарой	273	233	233	Жесткость одной пружины, кгс/мм	72,7	38	40
при полном сжатии	216	151	168				
Нагрузка, кгс:							
от тары	2620	1560	1235	Жесткость буксового комплекта, кгс/мм	145,5	156	
до полного сжатия	6720	4670	3830				

Таблица III-6

Группы буксовых пружин моторных вагонов ЭР2 и ЭР9П

Место установки пружины	Свободная высота пружины	Высота пружины под весом тары вагона 2620 кгс	
		Группа I	Группа II
Тележки со стороны шкафов	309^{+6}_{-3}	274,5—276,5	276,5—278
Тележки со стороны тамбуров	—	270—272	272—274,5

мых на раму тележки при движении по рельсовому пути, и улучшает тем самым динамические качества вагона. Вместе с тем такой поводок имеет вертикальную жесткость 5 кгс/мм, что увеличивает общую вертикальную жесткость буксового подвешивания.

При сборке тележек ЭР22 необходимо на одну колесную пару устанавливать пружины только одной группы. Пружины разделяют на группы по высоте их под нагрузкой 3380 кгс. К группе I относят пружины, имеющие высоту 227—230 мм под этой нагрузкой; к группе II — 230—233 мм и к группе III — 233—236 мм.

Центральное подвешивание моторных вагонов электропоездов ЭР2 и ЭР9П поясняется рис. III-48. Кузов вагона опирается стальными накладками на скользуны из древеснослоистого пластика ДСП-Г, установленные на упругих резиновых прокладках. Пара трения древопластик ДСП-Г и сталь имеет коэффициент трения 0,12—0,17. Характеристики пружин центрального подвешивания приведены в табл. III-7.

В центральном подвешивании моторных вагонов ЭР22 (рис. III-49) применено раздельное демпфирование вертикальных и боковых колебаний. Для демпфирования вертикальных колебаний подпрыгивания и галопирования, а также колебания боковой качки предназначены гидравлические гасители, установленные вертикально, а демпфирование боковых колебаний виляния и относа обеспечивается фрикционными гасителями, установленными горизонтально, а также за счет трения в скользунах боковых опор. Характеристики пружин центрального подвешивания ЭР22 также приведены в табл. III-7.

Характеристика поперечной связи тележки с кузовом (рис. III-50) — зависимость возвращающих усилий от относительных перемещений кузова и тележки — состоит из трех участков. На первом участке, когда зазор 5 мм между подвеской и упором *12* (см. рис. III-48), установленным в коробке *10*, еще не исчерпан, поперечная жесткость рессорного подвешивания составляет 488 кгс/мм (696 кгс/мм для ЭР22). После исчерпания этого зазора происходит перелом характеристики, и поперечная жесткость возрастает до 822 кгс/мм, т. е. на 81% (до 900 кгс/мм для ЭР22). И, наконец, после исчерпания зазора 45 мм между упором *11* надрессорного бруса и рамой тележки поперечная жесткость становится равной 4284 кгс/мм (4300 кгс/мм для ЭР22). Однако в эксплуатации из-за большого трения между серьгой и валиком перелома рессорной подвески практически не происходит и в действительности можно считать, что характеристика поперечной связи имеет вид, показанный на рис. III-51 штриховой линией.

Таблица III-7

Основные технические данные пружин центрального подвешивания моторных вагонов электропоездов

Показатели	Электропоезда серии					
	ЭР2		ЭР9П		ЭР22	
	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя
Число витков:						
рабочих	4,2	5,95	3,9	6,3	5,3	8,5
полное	5,7	7,45	5,4	7,8	6,8	10
Нагрузка, кгс:						
от тары	2250	1370	3145	1100	3240	1279
» веса брутто[1]	3650	2220	4870	1700	—	—
до полного сжатия	5240	3200	7700	12740	7790	3058
Высота, мм:						
свободная	396	396	390	390	505	505
под тарой	315	315	320,5	321	413	413
» весом брутто	265	265	283	284	—	—
при полном сжатии . . .	208	208	220	220	284	285
Прогиб под тарой, мм . . .	81	81	69,5	69	92	92
Диаметр прутка, мм	40	30	45	30	45	30
Средний диаметр пружины, мм	240	170	240	170	235	160
Шаг, мм	85	61,5	88,5	57	86,7	55,8
Жесткость одной пружины, кгс/мм	27,8	17,0	45,4	16,1	35,2	13,9
Жесткость комплекта, кгс/мм	89,8		122,8		98,2	

[1] Нагрузка от веса брутто соответствует максимальной расчетной населенности кузова

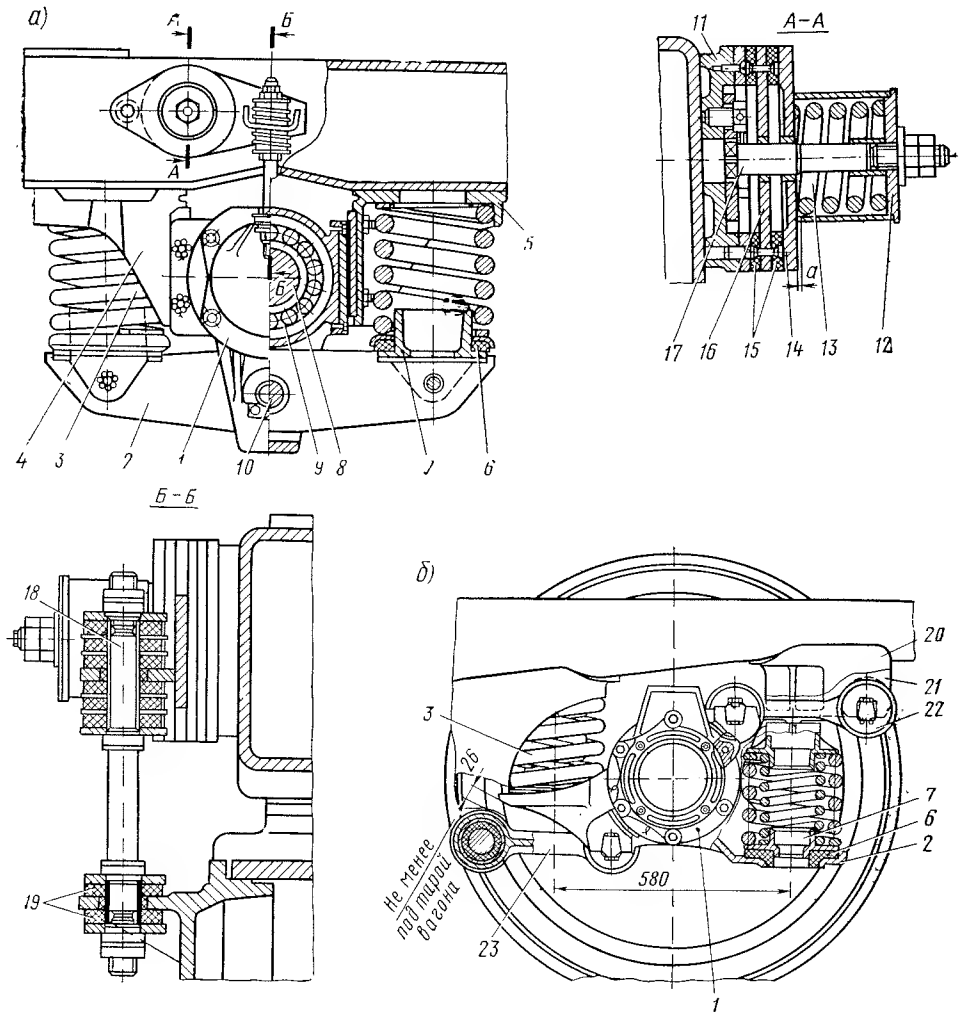


Рис. III-47. Буксовое подвешивание моторных вагонов электропоездов ЭР2 (*а*) и ЭР22 (*б*):
1 — корпус буксы; *2* — балансир; *3* — пружина; *4* — буксовая направляющая; *5* — чашка буксовой направляющей; *6* — резиновый амортизатор; *7* — опорный стакан; *8* — ось колесной пары; *9* — роликовый подшипник; *10* — валик; *11* — основание фрикционного гасителя; *12* — стакан; *13* — пружина нажимная; *14* — крышка; *15* — фрикционные диски; *16* — рычаг; *17* — ось гасителя; *18* — поводок гасителя; *19* — шайбы-амортизаторы резиновые; *20* — буксовый кронштейн; *21* — промежуточный кронштейн; *22, 23* — верхний и нижний тяговые поводки

Амортизаторы упоров *11* и *12* (см. рис. III-48) выполнены из резины 2462 с прочностью крепления резины к металлу не менее 20 кгс/см² на отрыв. Отслоение резины от металла не должно происходить при сдвиге основания относительно накладки усилием 1500 кгс (для упора *11* это усилие 1000 кгс). Амортизаторы тягового поводка и шкворня выполнены из резины 2462. Прочность соединения резины с металлом составляет не менее 20 кгс/см²; при испытаниях на сжатие с нагрузкой 4500 кгс не должно быть заметно отслоения резины от металла.

На прицепных тележках применено бесчелюстное буксовое подвешивание

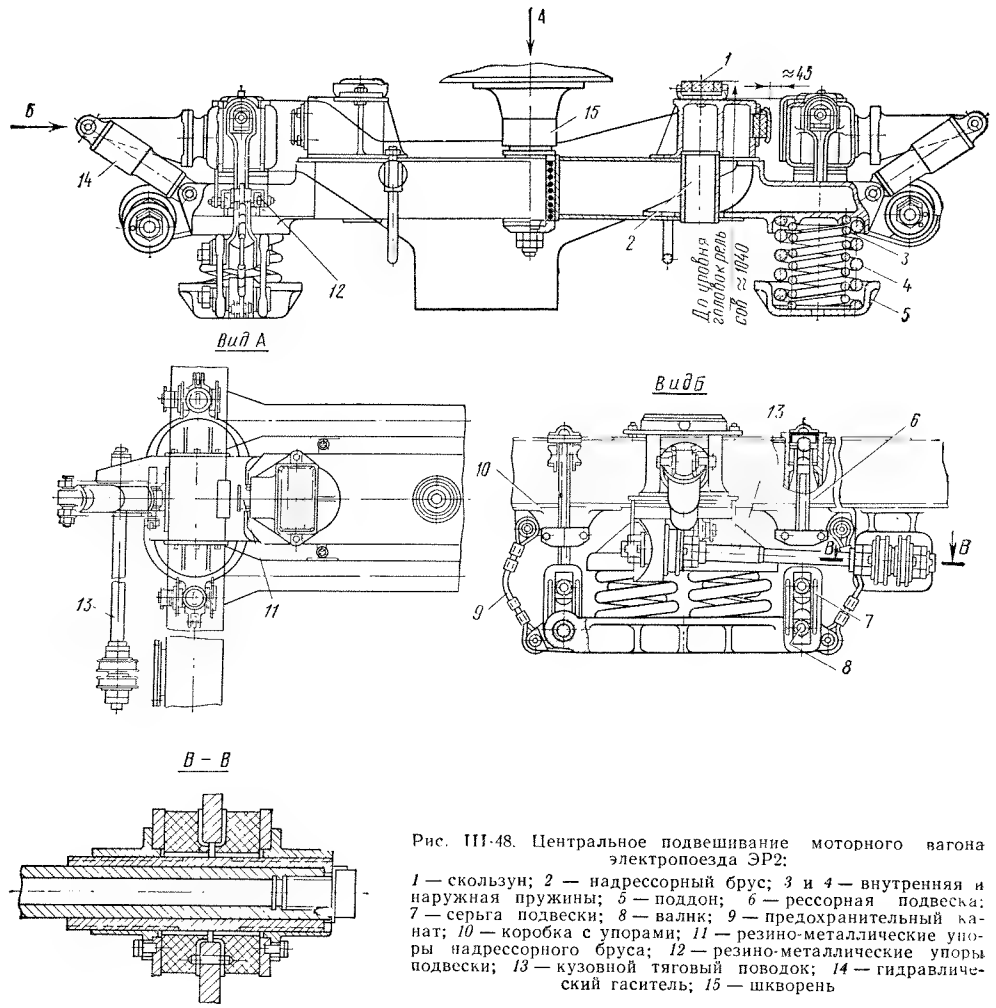


Рис. III-48. Центральное подвешивание моторного вагона электропоезда ЭР2:

1 — скользун; *2* — надрессорный брус; *3* и *4* — внутренняя и наружная пружины; *5* — поддон; *6* — рессорная подвеска; *7* — серьга подвески; *8* — валик; *9* — предохранительный канат; *10* — коробка с упорами; *11* — резино-металлические упоры надрессорного бруса; *12* — резино-металлические упоры подвески; *13* — кузовной тяговый поводок; *14* — гидравлический гаситель; *15* — шкворень

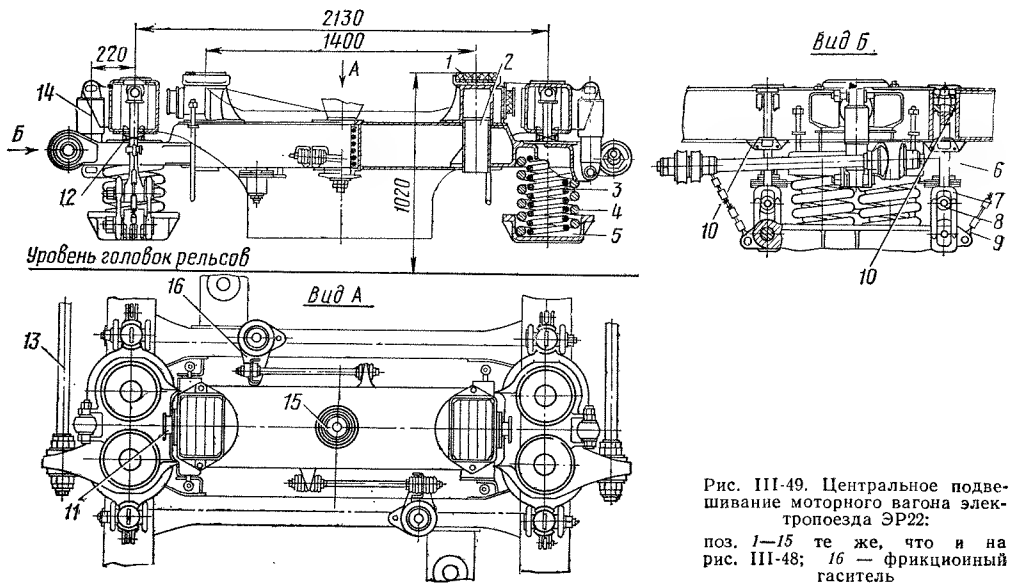


Рис. III-49. Центральное подвешивание моторного вагона электропоезда ЭР22:

поз. *1—15* те же, что и на рис. III-48; *16* — фрикционный гаситель

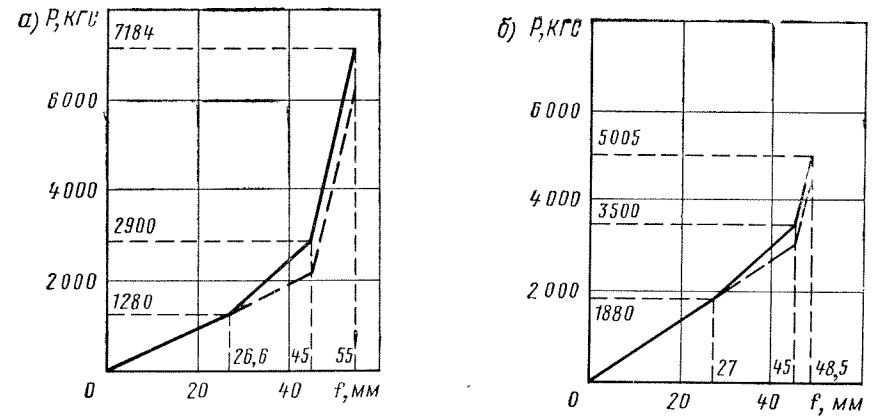


Рис. III 50. Характеристики поперечной связи тележек электропоездов ЭР2 (*а*) и ЭР22 (*б*) с кузовом

(рис. III-51). Продольные перемещения буксы относительно колесной пары ограничиваются шпинтонами из стали 25ЛII ГОСТ 977—65. После отливки шпинтоны подвергают термической обработке для получения мелкозернистой структуры и устранения внутренних напряжений. Отклонение конца шпинтона от перпендикуляра к опорной плоскости не должно превышать 1 мм.

Наружные пружины *3* (сталь 55С2) выполнены в соответствии с ГОСТ 1452—69. Амортизаторы выполнены из технической резины тип Е-а, группа У-в. Тарельчатая пружина, смягчающая удары гайки шпинтона о буксу при вертикальных колебаниях тележки, изготовлена из стали 55С2. Допускается ее изготовление из пружинной стали из листового и полосового проката, которые по своим качествам не ниже стали 55С2. Пружины подвергаются термической обработке по ГОСТ 1452—69.

В буксовом узле установлен фрикционный гаситель. Его сухари и кольца изготовлены из стали 45, разрешается их изготовление из стали 50 или из стали 37ХС ГОСТ 4543—71 (колец — из стали 38ХС). После изготовления сухари и кольца подвергают закалке с последующим отпуском до твердости не менее HRC 45. Втулка *10* также изготовлена из стали 45 с последующей закалкой и отпуском до твердости HRC 42—45.

Тележки ТЭК-II-37 имеют такую же конструкцию буксового подвешивания, как и тележки КВЗ-ЦНИИ/Э. Различаются они только характеристиками наружных буксовых пружин (табл. III-8.)

В зависимости от действительной высоты пружин в свободном состоянии их

Таблица III-8

Основные технические данные пружин буксового подвешивания прицепных вагонов-электропоездов

Показатели	Пружины		
	внутренние обеих тележек	наружные тележек	
		КВЗ-ЦНИИ/Э	ТЭК-II-37
Число витков:			
рабочих	3,9	3,9	4,4
полное	5,4	5,4	5,9
Высота, мм:			
свободная	165	266	300
при полном сжатии	81,5	176	216
Нагрузка до полного сжатия, кгс	738	5143	6830
Диаметр прутка, мм	15	36	40
Средний диаметр пружины, мм	125	196	200
Шаг, мм	38,2	59	51,2
Жесткость одной пружины, кгс/мм	8,85	57,15	72,7
Жесткость буксового комплекта, кгс/мм	—	~132	~163

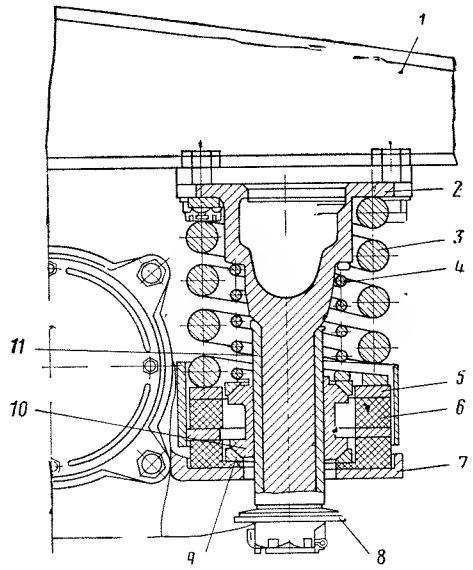


Рис. III-51. Буксовое подвешивание прицепных вагонов:

1 — боковина рамы тележки; *2* — шпинтон; *3* — наружная пружина; *4* — внутренняя пружина; *5* — стальное кольцо; *6* — резиновый амортизатор; *7* — крыло корпуса буксы; *8* — тарельчатая пружина; *9* — коническое кольцо; *10* — сухарь; *11* — втулка шпинтона

разделяют на три группы в соответствии с табл. III-9.

На одну тележку устанавливают пружины одной или смежных групп I и II или II и III. На переднюю тележку головного вагона ставят пружины только I и II группы, на заднюю — II и III.

Центральное подвешивание тележки КВЗ-ЦНИИ/Э и некоторые его узлы поясняет рис. III-52. Скользуны выполнены из серого чугуна, а накладки кузова — из закаленной стали; эта пара трения имеет коэффициент трения 0,06—0,15.

Таблица III-9

Группы буксовых пружин прицепных вагонов электропоездов

Тележка	Высота пружин, мм, группы		
	I	II	III
КВЗ-ЦНИИ/Э	270—268	267—265	264—261
ТЭК-II-37	313—311	310—308	307—304

Суммарный зазор между упорами *6* и упорами на боковинах рамы тележки должен быть в пределах 85 ± 5 мм. Зазор между упорами *7* и *8* на поперечных балках рамы тележки должен быть не менее 5 мм; суммарный зазор — не более 25 мм. Регулировка этих зазоров выполняется установкой специальных регулировочных прокладок.

Зазор *в* в пятниковом узле должен быть 8^{+2}_{-1} мм. Его контролируют по зазору *г*, который должен составлять 16^{+2}_{-1} мм. Эти зазоры регулируют установкой прокладок под скользуны боковых опор. Общая толщина прокладок не должна превышать 4 мм. Зазор между надрессорным брусом и предохранительным стержнем при действии на тележку веса порожнего кузова должен составлять 140^{+10} мм (140^{+20}_{-10} для ТЭК-II-37), его регулируют установкой шайб *13*.

Конструкции центрального подвешивания тележек ТЭК-II-37 (рис. III-53) и КВЗ-ЦНИИ/Э аналогичны.

Пружины центрального подвешивания (табл. III-10 и III-11) изготовляют в со-

Таблица III-10

Основные технические данные пружин центрального подвешивания прицепных вагонов электропоездов

Показатели	Пружины тележек					
	КВЗ-ЦНИИ/Э			ТЭК-II-37		
	Наружная	Средняя	Внутренняя	Наружная	Средняя	Внутренняя
Число витков:						
рабочих	5,2	6,4	11,4	4,6	7,25	11,4
полное	6,7	7,9	12,9	6,1	8,75	12,9
Высота, мм:						
свободная	502	442	502	424	502	502
при полном сжатии	248	222	248	252	248	248
Нагрузка до полного сжатия, кгс	5063	2965	1283	6179	3040	1285
Диаметр прутка, мм	40	30	20	45	30	20
Средний диаметр пружины, мм	290	210	140	290	210	140
Шаг, мм	87,5	64,7	41,7	87	64,3	41,7
Жесткость одной пружины, кгс/мм	20,18	13,667	5,11	36,53	12,06	5,1
Жесткость комплекта пружин, кг/мм	39,2			53,8		

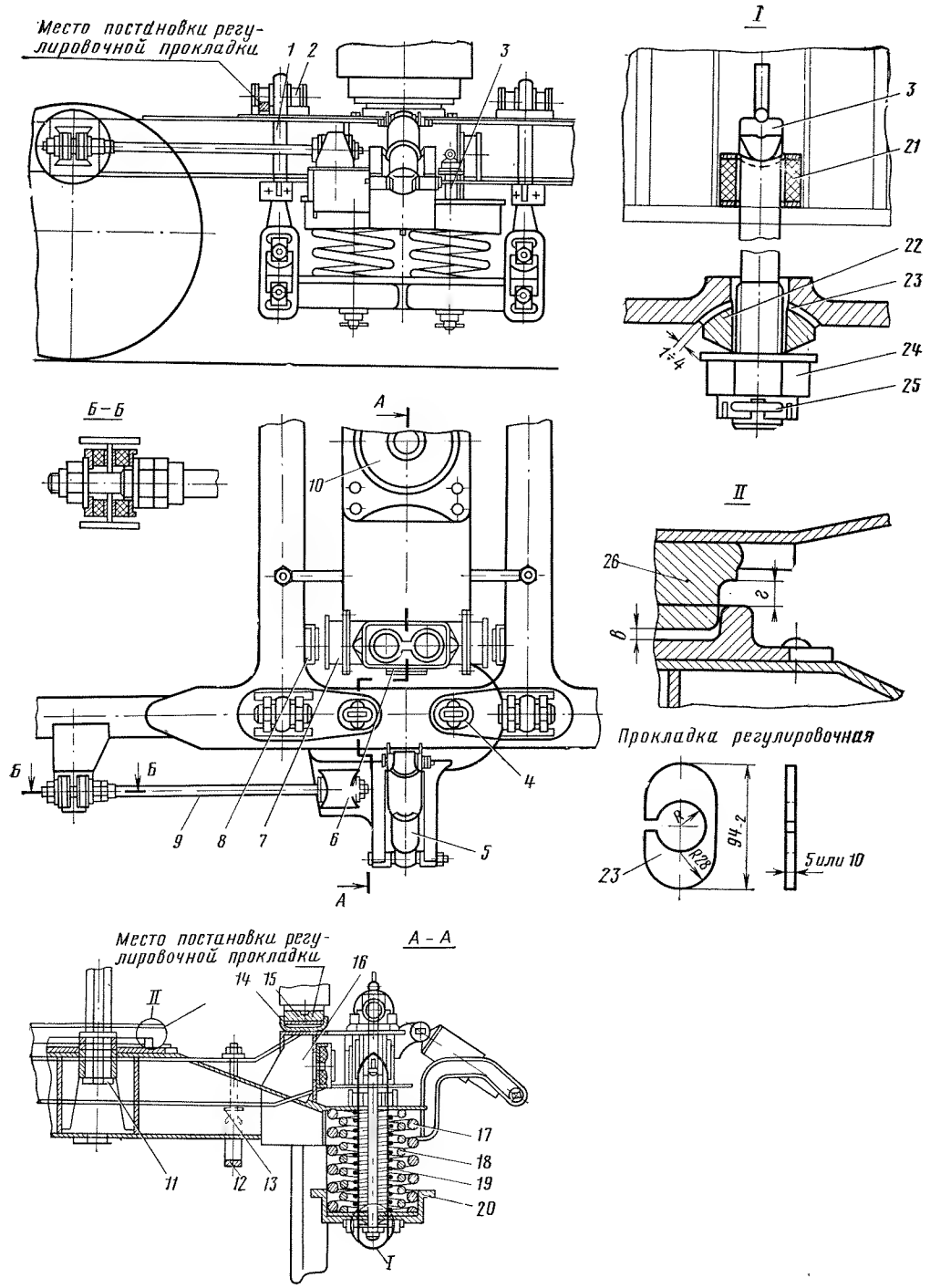


Рис. III 52. Центральное подвешивание тележки КВЗ-ЦНИИ/Э:

1 — подвеска; *2* — узел крепления подвески к раме тележки; *3* — стержень предохранительный; *4* — крышка специальная; *5* — гаситель гидравлический; *6* — упор поперечный; *7* — упор продольный; *8* — упор поперечной балки; *9* — тяговый поводок; *10* — подпятник; *11* — шкворень; *12* — скоба предохранительная; *13* — шайба регулировочная; *14* — накладка опоры кузова; *15* — скользун; *16* — надрессорный брус; *17* — пружина наружная; *18* — пружина средняя; *19* — пружина внутренняя; *20* — поддон; *21* — амортизатор резиновый; *22* — вкладыш сферический; *23* — прокладка регулировочная; *24* — гайка корончатая; *25* — шплинт; *26* — пятник

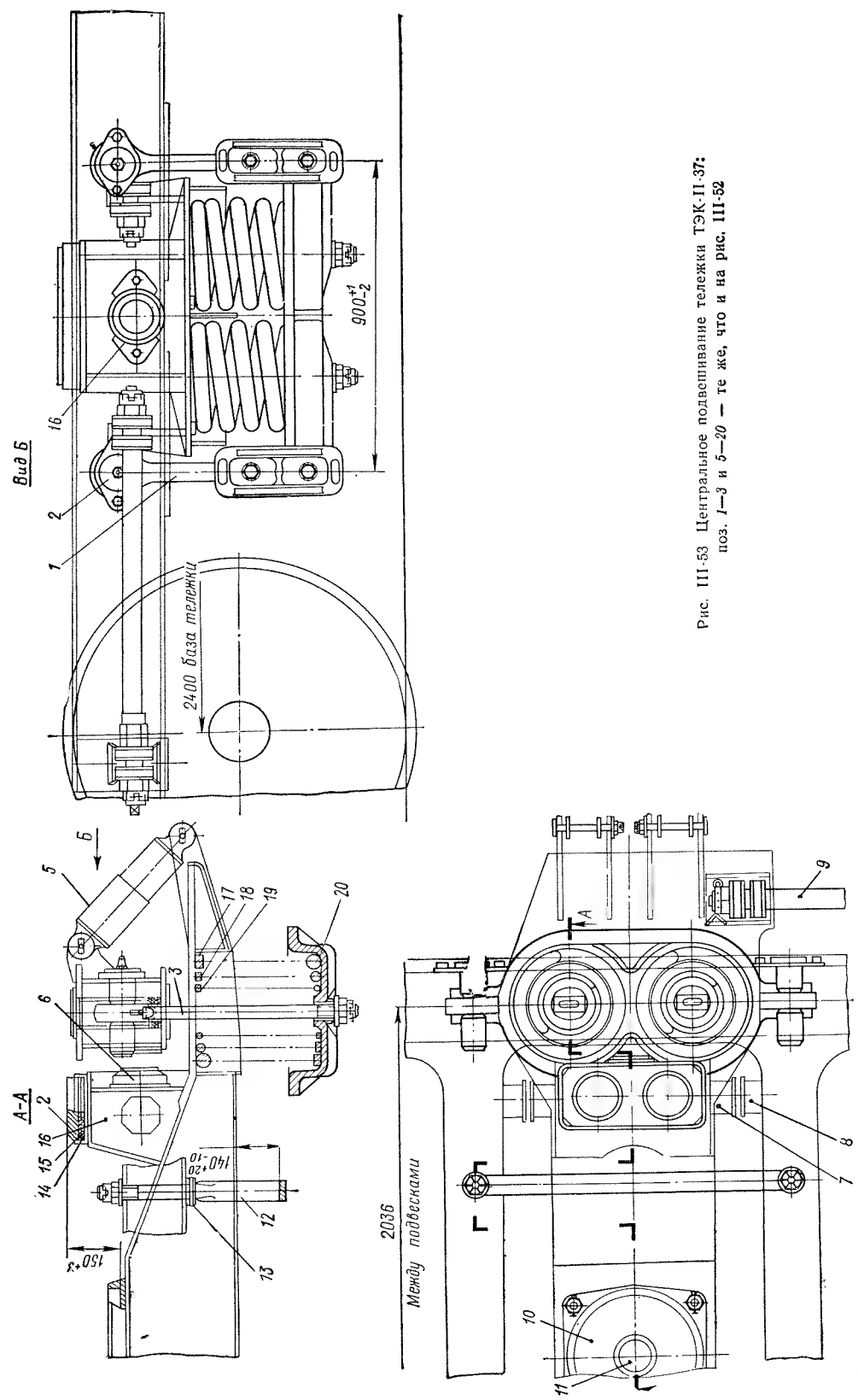


Рис. III-53 Центральное подвешивание тележки ТЭК-II-37: поз. 1—3 и 5—20 — те же, что и на рис. III-52

Таблица III-11

Основные технические данные комплектов пружин подвешивания тележек электропоездов

Вид нагружения	Показатели	Тележки КВЗ-ЦНИИ/ЭГ головного вагона		Тележки КВЗ/ЦНИИ/Э прицепного вагона		Тележки ТЭК-II-37 прицепного вагона	
		1-й конец	2-й конец	1-й конец	2-й конец	Тормозной конец	Нетормозной конец
Тара вагона	$P_т$, кгс	2241/3643	1945/3090	1995/3194	1945/3093	2194/3624	2069/3374
	$t_т$, мм	37/114,5	32/100,5	33/103	32/100,5	29/120,5	27/116
	$h_т$, мм	231/387,5	232/395,5	235/399	232/395,5	284/381,5	283/382
Вес брутто при нормальной расчетной населенности вагона	$P_{бр.н.}$ кгс	2681/4523,5	2659/4522,5	2686/4576,5	2671/4545,5	3044/5324	2943/5121,5
	$t_{бр.н.}$ мм	43,5/137	43/137	43,5/138,5	43/138	39,5/152	37,7/148,5
	$h_{бр.н.}$ мм	224,5/365	221/359	224,5/363,5	221/358	350/280,5	272,3/349,5
Вес брутто при максимальной расчетной населенности вагона	$P_{бр.б.}$ кгс	2925/5010,5	3055/5313	3130/5646	3137,5/5478	3785/6806,5	3715/6666,5
	$t_{бр.б.}$ мм	47,5/149,5	49/157,5	50/161	50/161,7	48,5/179,5	47/177
	$h_{бр.б.}$ мм	220,5/352,5	215/338,5	218/341	214/334,3	264,5/322,5	263/321
Полное сжатие комплекта	$P_{сж}$, кгс	5664/8957	5436/8724	5664/8957	5436/8724	7500/10424	7290/10209
	$t_{сж}$, мм	89/251	85/245	89/251	85/245	94/247	91/243
	$h_{сж}$, мм	179/251	179/251	179/251	179/251	219/255	219/252

Примечание. В числителе приведены данные для буксового подвешивания, в знаменателе — для центрального.

ответствии с ГОСТ 1452—69. Эти пружины (наружные для КВЗ-ЦНИИ/Э; наружные и средние для ТЭК-II-37) разбивают на три группы в зависимости от их действительной свободной высоты. К группе I относятся пружины, имеющие свободную высоту 500—506 мм, ко II — 497—501 мм и к группе III — 491—496 мм. На каждый поддон устанавливают комплекты пружин только одной группы. На два поддона одной тележки допускается устанавливать комплекты пружин смежных групп. На переднюю тележку головного вагона и на тележку 1-го конца прицепного вагона ставят пружины только групп I и II, на другие тележки этих вагонов — пружины групп II и III.

Колесные пары моторных вагонов электропоездов серии ЭР (рис. III-54) состоят из оси и двух сборных колес с литыми спицевыми центрами. Одно из колес *3* имеет удлиненный фланец, к которому призонными болтами крепится венец зубчатого колеса редуктора.

Оси колесных пар вагонов (рис. III-55) изготовляют в соответствии с ГОСТ 3281—59 из специальной стали марки ОС Л (осевая локомотивная) ГОСТ 4728—72, имеющей следующие механические характеристики:

Временное сопротивление растяжению	не ниже 59 кгс/мм²
Относительное удлинение	18—20%
Средняя ударная вязкость	3,5—5,0 кгс/см²

Допускаемые отклонения от правильной геометрической формы оси не должны превышать величин, указанных в табл. III-12.

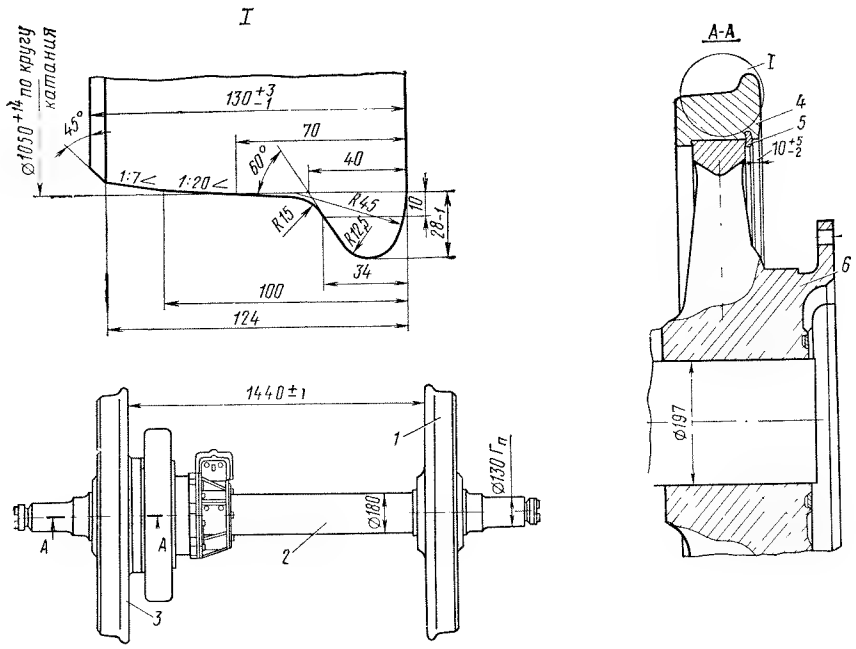


Рис. III-54. Колесная пара моторного вагона:
1 — колесо с нормальной ступицей; *2* — ось; *3* — колесо с удлиненным фланцем; *4* — бандаж; *5* — бандажное кольцо; *6* — колесный центр

Колесные центры одиннадцатиспицевые, литые из углеродистой стали марки 25Л III (особо повышенного качества) по ГОСТ 977—65. Колесные центры изготовляют в соответствии с ГОСТ 4491—48, а бандажи — в соответствии с ГОСТ 398—71. Бандажная сталь должна содержать 0,57—0,655% углерода и 0,20—0,42% кремния. Механические характеристики ее следующие:

Временное сопротивление . .	не ниже 85 кгс/мм²
Относительное удлинение . .	не менее 11%
Относительное сужение . .	не ниже 14%
Твердость	не менее НВ 243

Колесные пары тележки КВЗ-ЦНИИ/Э прицепных вагонов состоят из двух цельнокатаных колес и оси. Колесная пара тележки ТЭК-II-37 (рис. III-56), помимо этого, имеет еще два тормозных диска дискового тормоза.

Изготовление и формирование колесных пар производятся в соответствии с ГОСТ 4835—71.

Оси колесных пар (рис. III-57) изготовляют ковкой или штамповкой из стали марки ОС-В ГОСТ 4728—72 с последующей механической обработкой. Для повышения прочности оси после механической обработки производится ее накатка роликами.

Буксы моторных вагонов электропоездов ЭР2 и ЭР9П (рис. III-58) челюстные. Балансир выполнен из стали марки ВМ Ст5сп.

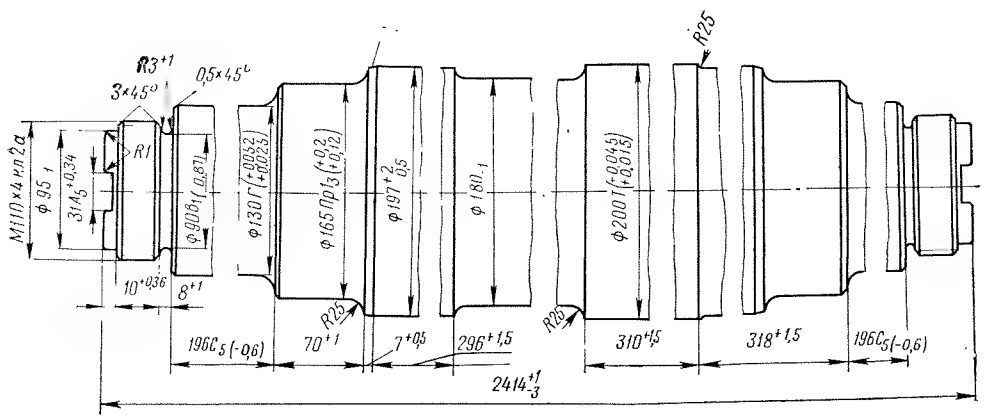


Рис. III-55. Ось колесной пары моторного вагона электропоездов ЭР2 и ЭР9П

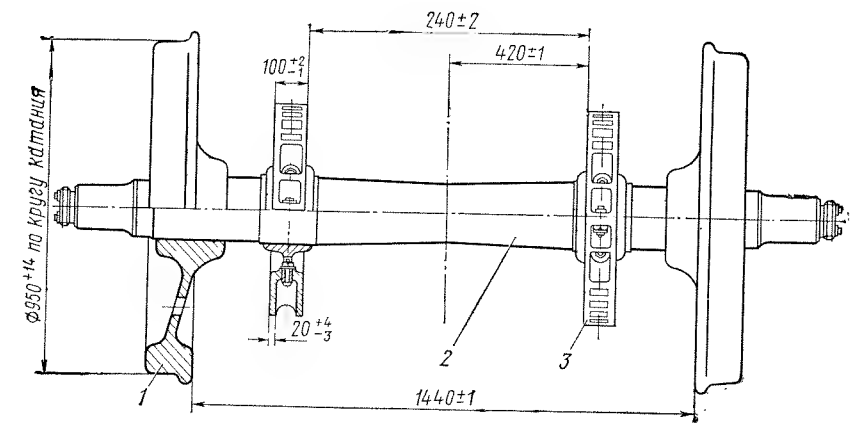


Рис. III-56. Колесная пара тележки ТЭК-II-37:
1 — цельнокатаное колесо; *2* — ось колесной пары; *3* — тормозной диск

Моторные вагоны ЭР22 имеют бесчелюстную буксу (рис. III-59). Роликовые подшипники *10* и *11* таких же типов, как и на ЭР2 и ЭР9П, установлены в корпусе без дистанционного кольца, благодаря чему уменьшена длина шейки оси.

Таблица III-12
Допускаемые отклонения от правильной геометрической формы оси

Элементы оси	Овальность, мм	Конусность, мм	Волнистость, мм
Шейка	0,015	0,015	0,02
Предподступичная часть	0,03	0,03	0,05
Подступичная часть	0,05	0,01	0,02
Средняя часть . . .	—	—	0,2

Буксы колесных пар одинаковы для тележек всех прицепных вагонов. Они имеют тонкостенный литой корпус из стали 25Л III ГОСТ 977—65. В буксах применены такие же роликовые подшипники 3Н42726Л и 3Н23726ЛI, как и на моторных вагонах. Они установлены на шейку оси без промежуточных колец.

Тяговая передача электропоезда серии ЭР состоит из упругой муфты и зубчатой передачи. Вначале на электропоездах применяли для передачи вращающего момента кулачковую муфту. Упругая муфта (рис. III-60) передает вращающий момент через специальную резинокордную оболочку. У нее, в отличие от кулачковой муфты, отсутствуют трущиеся, изнашиваемые и смазываемые поверхности. Она играет роль не только соединительного, но и упругого звена, снижающего динамические нагрузки в приводе вследствие гибкости оболочки.

Упругая оболочка типа И-00908 или 1628 изготовлена из резины с прослойкой из кордной ткани. Посадочные отверстия оболочки усилены армировкой из стальной проволоки. Металлические детали муфты изготовлены из стали 45; допускается их изготовление из стали ОСЛ по ГОСТ 4728—72.

Упругие муфты вагонов ЭР2 (ЭР9П) и ЭР22 различаются только конструкцией фланцев двигателя и шестерни.

Тяговый редуктор имеет опорно-осевое подвешивание (рис. III-61, *а*). Корпус редуктора состоит из двух половин, скрепленных десятью болтами. Обе половины

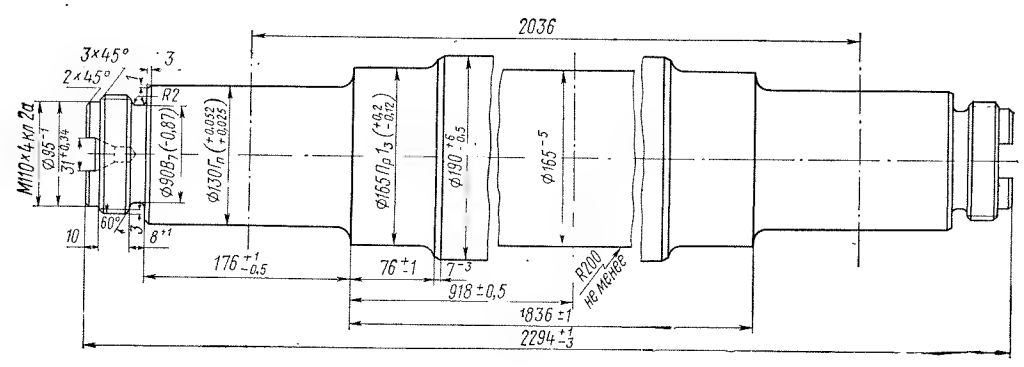


Рис. III-57. Ось колесной пары прицепного вагона

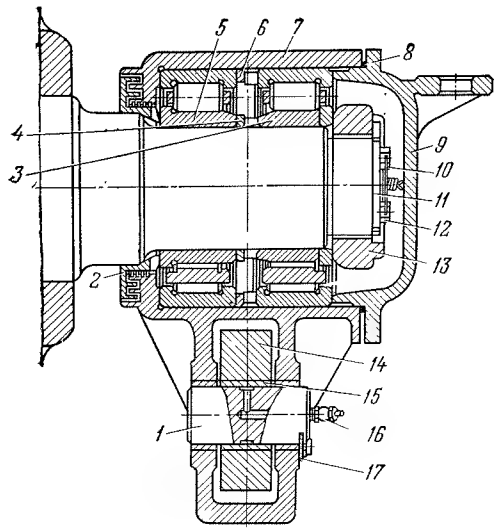


Рис. III-58. Букса моторного вагона ЭР2 и ЭР9П:
1 — валик балансира; *2* — воротник лабиринтный; *3* — роликовый подшипник 3Н232726Л1; *4* — кольцо дистанционное малое; *5* — роликовый подшипник 3Н42726Л; *6* — кольцо дистанционное большое; *7* — корпус буксы; *8* — кольцо уплотнительное; *9* — крышка; *10* — проволока; *11* — планка стопорная; *12* — болт; *13* — гайка торцовая; *14* — балансир; *15* — втулка; *16* — масленка шариковая; *17* — пластина стопорная

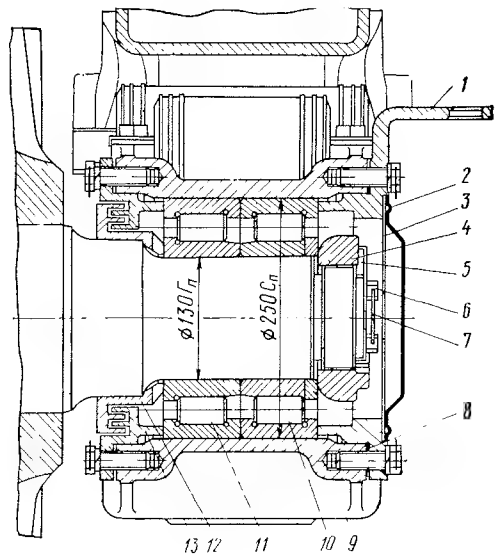


Рис. III-59. Букса моторного вагона электропоезда ЭР22:
1 — крышка прижимная; *2* — крышка смотровая; *3* — прокладка; *4* — гайка торцовая; *5* — планка стопорная; *6* — болт; *7* — проволока; *8* — кольцо уплотнительное; *9* — корпус буксы; *10* — роликовый подшипник 3Н232726Л; *11* — роликовый подшипник 3Н42726Л; *12* — воротник лабиринтный; *13* — кольцо лабиринтное

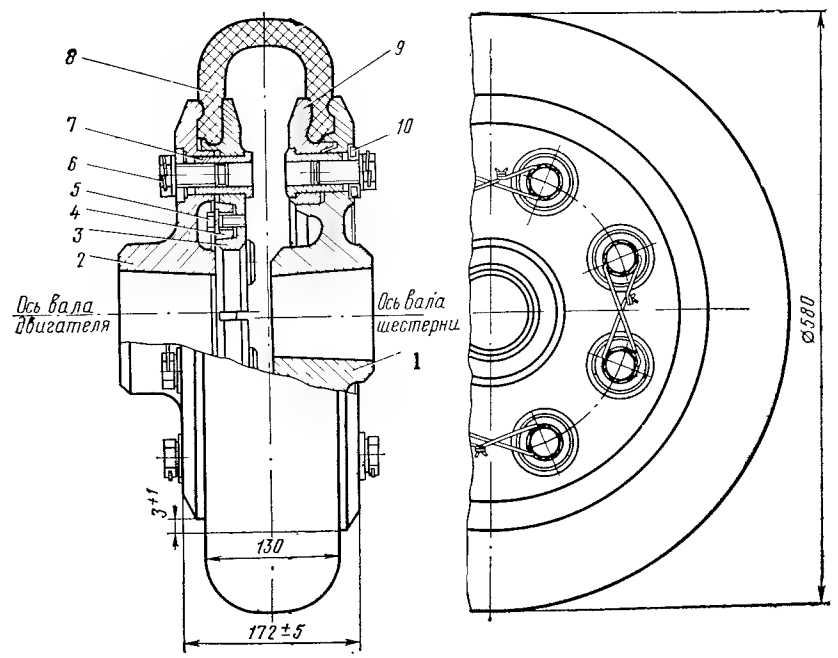
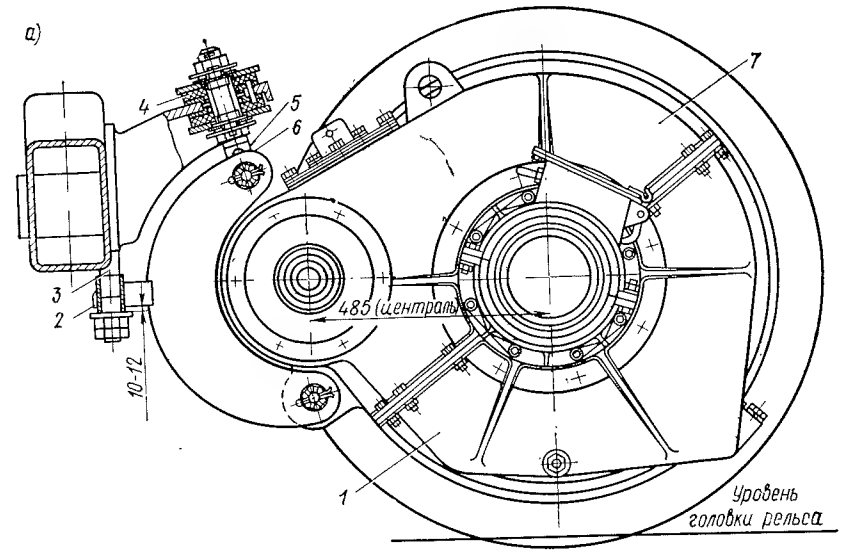


Рис. III-60. Упругая муфта моторного вагона электропоезда ЭР2:
1 — фланец шестерни; *2* — фланец двигателя; *3* — разрезное кольцо; *4* — центрирующее клиновое кольцо; *5* — болт разрезного кольца; *6* — болт крепления упругой оболочки; *7* — втулка разрезного кольца; *8* — упругая оболочка; *9* — полукольцо; *10* — запорное кольцо



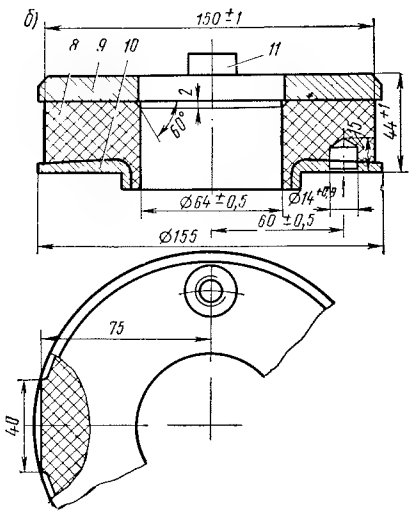


Рис. III-61. Подвешивание редуктора электропоезда ЭР2 (*а*) и амортизатор подвески (*б*):
1 и *7* — нижняя и верхняя половины корпуса редуктора; *2* — проушина серьги; *3* — предохранительная шпилька поперечной балки рамы тележки; *4* — резино-металлический амортизатор; *5* — болт; *6* — серьга; *8* — резиновая втулка; *9* — шайба верхняя; *10* — шайба нижняя; *11* — бобышка для крепления стопорной шайбы

корпуса выполнены из тонкостенного стального литья (сталь марки 25ЛII повышенного качества). Взаимное расположение валов якоря двигателя и шестерни регулируют специальными гайками. Между гайками и кронштейном установлены резино-металлические амортизаторы, предназначенные для снижения динамических усилий в подвеске редуктора и деталях привода.

Амортизаторы (рис. III-61, *б*) состоят из резиновой втулки, армированной привулканизированными стальными шайбами. Втулка выполнена из резины 2462.

Подвешивание редуктора электропоезда ЭР22 (рис. III-62) несколько отличается от рассмотренного. В нем уменьшено число деталей (болт и серьга подвески заменены одной деталью — стержнем подвески), отсутствуют сферические подшипники и трущиеся детали и снижен вращающий момент, передаваемый на поперечную балку через кронштейн подвески редуктора за счет уменьшения плеча (стержень подвески приближен к поперечной балке). Кроме того, увеличение вдвое количества резино-металлических амортизаторов снижает в 2 раза их жесткость, что способствует уменьшению уровня динамических усилий, возникающих при колебаниях тягового привода.

Тяговый редуктор (рис. III-63) состоит из двух цилиндрических прямозубых колес, заключенных в разъемный корпус, верхняя и нижняя половины которого показаны на рис. III-61. Модуль передачи равен 10 мм. Основные технические данные редукторов следующие:

	ЭР2 и ЭР9П	ЭР22
Число зубьев:		
зубчатого колеса . .	73	75
шестерни	23	22
Передаточное число . . .	3,17	3,41
Межцентровое расстояние, мм	485	490

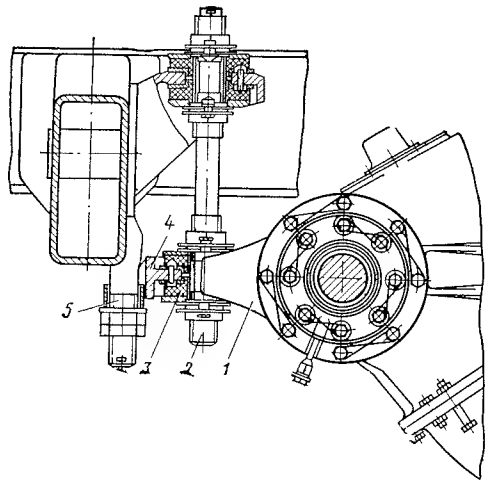


Рис. III-62. Подвешивание редуктора ЭР22:
1 — прилив верхней половины корпуса; *2* — стержень подвески; *3* — резино-металлический амортизатор; *4* — проушина прилива корпуса; *5* — предохранительная шпилька поперечной балки рамы тележки

Заготовки венцов зубчатых колес из стали марки 30ХН3А ГОСТ 4543—71 получают способом ковки с прокаткой, заготовки венцов шестерен из прокатанной заготовки — сталь марки 12ХН3А или 14ХГ2Н (с)Р — путем ковки с осадкой в торец, при этом осадка должна быть не менее половины высоты заготовки.

Зубчатые венцы имеют зубья со шлифованными рабочими поверхностями и впадиной, закаленными по всему контуру на глубину 3,5 ± 1,5 мм до твердости HRC 46—52. При недостаточной твердости допускается повторная термообработка. После обработки зубья проверяют на отсутствие трещин.

Шестерня состоит из венца и вала с коническим хвостовиком. Зубья шестерни после фрезерования подвергают цементации и закалке до твердости не менее HRC 54. Глубина цементированного слоя должна быть 1,5—2 мм. После термообработки конусное отверстие и зубья шлифуют. Окончательно обработанный венец шестерни нагревают до 110—120° С, напрессовывают на вал и закрепляют резьбовыми шпильками.

Для проверки глубины цементации на шестерне допускается заточка одного зуба с торца на глубину до 3 мм. В случае недостаточной глубины цементации допускается повторная цементация до трех раз для получения заданной глубины. Твердость венцов шестерни и зубчатого колеса проверяют после закалки по тремчетырем зубьям.

После термообработки каждую готовую шестерню проверяют дефектоскопом на отсутствие трещин. При наличии трещины шестерню бракуют. Вал шестерни изготовляют из стали ВМ Ст5сп с термоулучшением.

Поверхности конуса для посадки венца, конусного хвостовика, а также шеек под роликовые подшипники шлифуют. Перед посадкой венца шестерни на конус вала сопрягаемые поверхности притирают.

Собранную шестерню устанавливают на двух цилиндрических роликовых подшипниках № 2Н32518ГI и № 2Н92518ГI в верхней половине корпуса редуктора. Для подачи смазки к подшипникам шестерни в наружные крышки ввернуты штуцера, закрываемые резьбовыми пробками.

Положение шестерни в корпусе редуктора регулируют прокладками между корпусом и крышками. Правильность установки шестерни контролируют по величине аксиального перемещения ее вала, которая должна быть в пределах 0,1—0,26 мм. Допускается осевое смещение шестерни относительно зубчатого венца не более 3 мм.

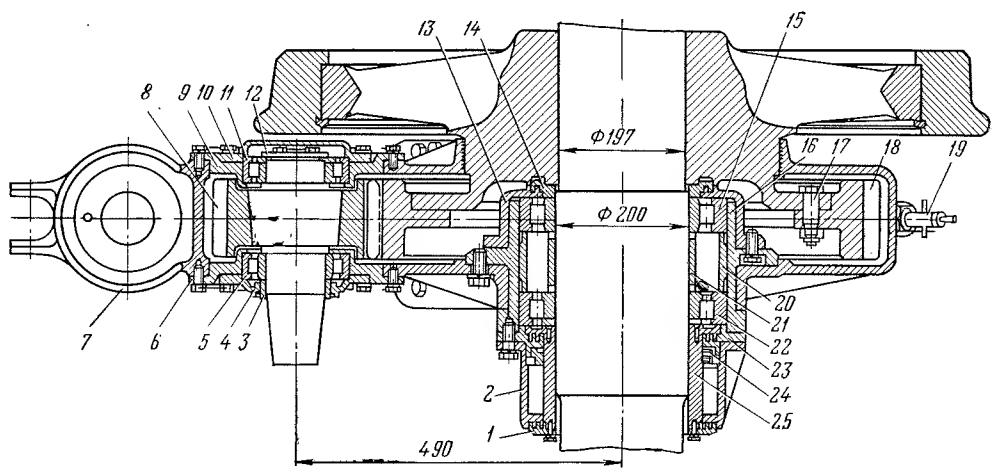


Рис. III-63. Тяговый редуктор ЭР22:
1, 14 — кольца лабиринтные; *2* — корпус заземлителя; *3* — кольцо упорное; *4* — крышка передняя; *5* — роликовый подшипник 2Н 32518 ГI; *6, 9* — крышки; *7* — корпус; *8* — шестерня; *10* — крышка задняя; *11* — роликовый подшипник 2Н 92518 ГI; *12* — шайба упорная; *13* — крышка упорная; *15* — роликовый подшипник 32140 ЛI; *16* — стакан; *17* — болт призонный; *18* — венец зубчатый; *19* — измерительный уровня масла; *20* — кольцо наружное распорное; *21* — кольцо внутреннее; *22* — роликовый подшипник 92140 Л2; *23* — крышка лабиринтная; *24* — кольцо маслоотбойное; *25* — кольцо заземления

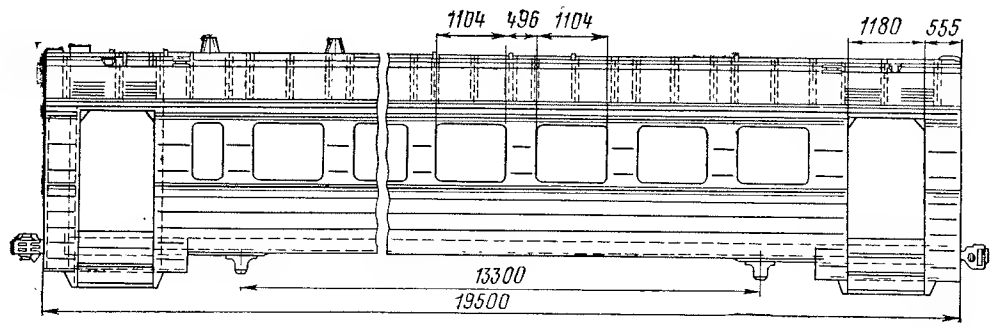


Рис. III-64. Кузов моторного вагона ЭР2

III-4. КУЗОВА ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Кузова моторных вагонов электропоездов (рис. III-64) является цельнонесущим. Он состоит из рамы, боковых концевых стенок, а также крыши, объединенных в единую конструкцию, которая обеспечивает одновременную работу всех элементов кузова, в том числе и обшивки.

Большинство деталей и узлов головных, моторных и прицепных вагонов унифицировано и изготовлено из штампованных или катанных профилей из углеродистых и низколегированных сталей: ВМСт3сп, 09Г2 и 111Н15КП. Рамы кузовов моторных и прицепных вагонов различаются только вспомогательными элементами—балками и кронштейнами для подвески электрического и пневматического оборудования.

Боковая стена кузова вагона состоит из каркаса, сваренного из вертикальных стоек, которые связаны между собой верхним продольным угольником, и гофрированных металлических листов наружной обшивки, приваренных к каркасу.

Ширина оконных проемов узких окон 480 мм и широких 1100 мм (соответственно 780 и 1104 мм для ЭР22). Листы наружной обшивки имеют толщину 2 мм для надоконного пояса и 2,5 мм для остальных частей.

Концевые стены кузовов — лобовые и торцовые — также состоят из каркаса и гофрированных металлических листов наружной обшивки толщиной 2 мм (для ЭР22 — 2,5 мм). Каркас торцовой и лобовой стен выполнен из вертикальных стоек. Каркас крыши сварен из Z-образных стальных дуг, обшитых сверху стальными листами толщиной 1,5 мм. Место соединения крыши с боковыми стенками перекрыто водосточным карнизом, предохраняющим от попадания влаги внутрь кузова.

III-5. ТЕЛЕЖКИ ТЕПЛОВОЗОВ

Челюстные тележки тепловозов ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10, 2ТЭ10А, ТЭМ1 и ТЭМ2 не имеют принципиальных отличий.

Тележка тепловозов ТЭ3, выпускавшихся с 1963 г. (рис. III-65), отличается от тележек тепловозов выпуска до 1963 г. конструкцией рессорного подвешивания и деталей рамы, связанных с подвешиванием, конструкцией шкворневой балки, способом крепления челюстей, расположением воздушных каналов и кабелей. Конструкцию рамы тележки поясняет рис. III-66. Способ изготовления, материал и основные размеры балок указаны в табл. III-13.

Буксовые челюсти литые из стали 20ЛII или 20ЛIIК. Боковые поверхности челюстей имеют подкладки из стали Ст3 и наличники из стали 60Г ГОСТ 1050—60, а лобовые — только наличники. Наличники после термообработки должны иметь твердость НВ 285—363. Подкладки к челюстям и боковые наличники к подкладкам прикрепляют электрозаклепками, а лобовые наличники — электрозаклепками и сваркой прерывистым швом по контуру наличника.

Буксовые струнки (сталь Ст3) на тепловозах, выпускавшихся с 1960 г., крепят к челюстям двумя болтами.

Перед подкаткой тележки поверхности трения и опор кузова смазывают осевым маслом, а после подкатки гнездо шкворня заполняют осевым маслом. Для защиты от попадания пыли в гнездо шкворня после подкатки тележки выступающую часть шкворня смазывают слоем универсальной среднеплавкой смазки любой марки толщиной и шириной 10 мм.

Общая масса тележки тепловоза ТЭ3 в сборе 24 730 кг, а тележек тепловозов 2ТЭ10Л и ТЭМ2 соответственно 23 586 и 23 573 кг.

Бесчелюстные тележки применяют на тепловозах 2ТЭ10Л, ТЭ109, 2ТЭ116, ТЭП60, ЧМЭ3. У тележек тепловозов ЧМЭ3 буксы соединяются с рамой тележки буксовым рычагом, у остальных тепловозов — поводками. Тележки с бесчелюстными буксами тепловозов ТЭ109, 2ТЭ10Л и 2ТЭ116.

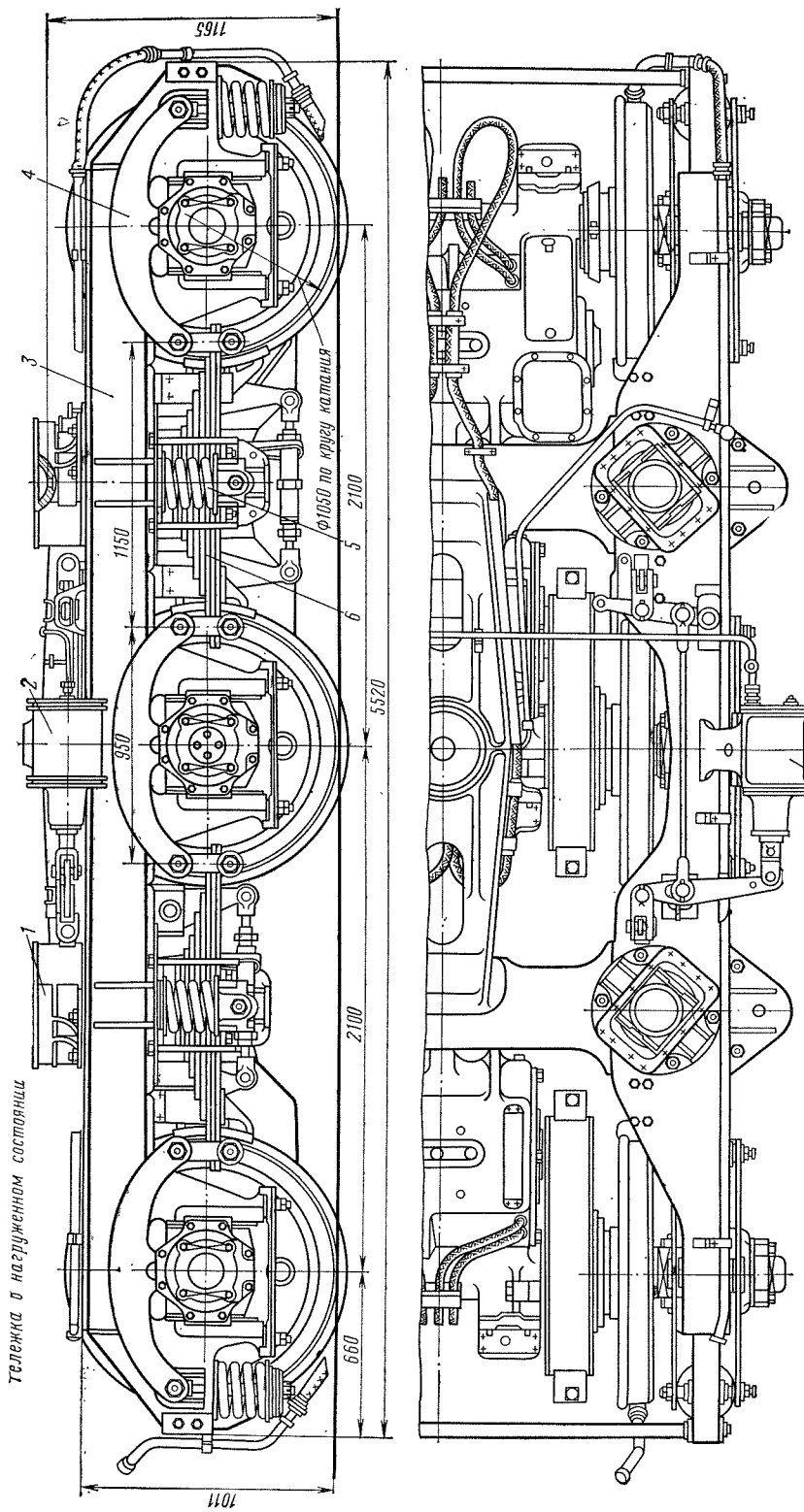


Рис. III-65. Тележка тепловоза ТЭ3:
1 — роликовая опора кузова; *2* и *7* — тормозной цилиндр; *3* — рама тележки; *4* — балансир; *5* — пружина подвешивания; *6* — рессора

Таблица III-13

Основные данные рам тележек тепловозов

Показатели	Тепловоз серии					
	ТЭ3, 2ТЭ10Л	2ТЭ10Л с бесчелюстными тележками	2ТЭ116	ТГ102	ТЭП60	ТЭМ2
Продольные балки (боковины)						
Способ изготовления и материал	Сварные из листовой стали Ст3		—	Сварные из листовой стали Ст3	Сварные из штампованных частей, сталь 20	Сварные из листовой стали Ст3
Высота балки, мм: в средней части	248^{+2}_{-3}	240	240	280^{+2}_{-3}	350	248^{+2}_{-3}
над крайними колесными парами	248^{+2}_{-3}	240	240	—	285	248^{+2}_{-3}
Ширина балки (по вертикальным листам), мм	168^{+2}_{-3}	270 ± 2	270^{+2}	170^{+2}_{-3}	200	168^{+2}_{-3}
Толщина листов, мм: вертикальных	14	10	10	—	10	14
горизонтальных верхних	18	14	14	—	10	18
горизонтальных нижних	30	14	14	—	10	30
Общая длина, мм	5520 ± 5	5495	5700	4160	6500	5520 ± 5
Масса, кг	1020	965/969	960/926	6142	838,6	990,6
Средние поперечные балки						
Способ изготовления и материал	Сварные из листовой стали Ст3				Сварные из штампованных частей, сталь 20	Сварные из листовой стали Ст3
Размеры поперечного сечения в средней части, мм: высота	288^{+8}_{-2}	303^{+3}_{-2}	303^{+3}_{-2}	110^{+3}_{-2}	Прямоугольные, сечение 290×355 мм, усиленное горизонтальным листом 13 мм и двумя вертикальными по 10 мм. На концах круглое сечение диаметром 256 мм	288 ± 3
ширина	160 ± 2	160 ± 2	160 ± 2	160 ± 2		
Толщина листов, мм: вертикальных	10	8	8	—	12	10
горизонтальных	14	8	8	—	12	14
Общая длина, мм	2795^{+2}_{-3}	1884	1884	1920^{+1}	2490^{+3}	2815^{+3}_{-1}
Масса, кг	302,2/286,2	183	183	112	316/314	300,3/290,3
Продольная шкворневая балка						
Способ изготовления и материал	Литая из стали 25ЛII			Нет	Нет	Литая из стали 25ЛII
Общая длина, мм	2150	1900	1900	—	—	2150
Масса, кг	280	248	284	—	—	280

Показатели	Тепловоз серии					
	ТЭ3, 2ТЭ10Л	2ТЭ10Л с бесчелюстными тележками	2ТЭ116	ТГ102	ТЭП60	ТЭМ2
Концевые поперечные балки						
Способ изготовления и материал	Швеллер № 22 (до 1960 г.) и № 16	Сварные из листовой стали Ст3			Сварные из штампованных частей, сталь 20	Швеллер № 16
Толщина листов, мм:						
вертикальных	—	8	10		10	—
горизонтальных	—	8	10		—	—
Количество балок	2	1	1		2	2
Длина, мм	$1994_{-0,75}$	1884	1836 ± 2	1920	1900	$1994_{-0,75}$
Масса, кг	29,4	170,9	92	144,9	110,5/100,5	29,4
Общая масса рамы, кг	3390	—	3250	2032,4	3000	—

(рис. III-67 и III-68) отличаются установкой роликовых опор кузова на раме тележки, конструкцией рамы тележки (тележки тепловозов 2ТЭ116 имеют противоотносное устройство и рамы с двумя концевыми поперечными балками), корпусов букс, кронштейнов и др. У тележек тепловозов 2ТЭ10Л вертикальный и горизонтальный прогибы продольной балки рамы не должны быть более 4 мм, а скручивание — не более 8 мм по всей длине балки. Допускается правка рамы с местным нагревом и под статической нагрузкой. Требования к установке кронштейнов на рамах тележек тепловозов указаны в табл. III-14.

Конструкцию тележки тепловоза ТЭП60 поясняет рис. III-69. Рама (рис. III-70) тележки сварная. Основные параметры балок рамы приведены в табл. III-15.

Кронштейны буксовых поводков отливают из стали 20ЛII ГОСТ 977—65. Скобы кронштейнов изготовляют из этой же стали. Половины скоб приваривают к кронштейнам (ранее литые скобы крепили четырьмя болтами М24).

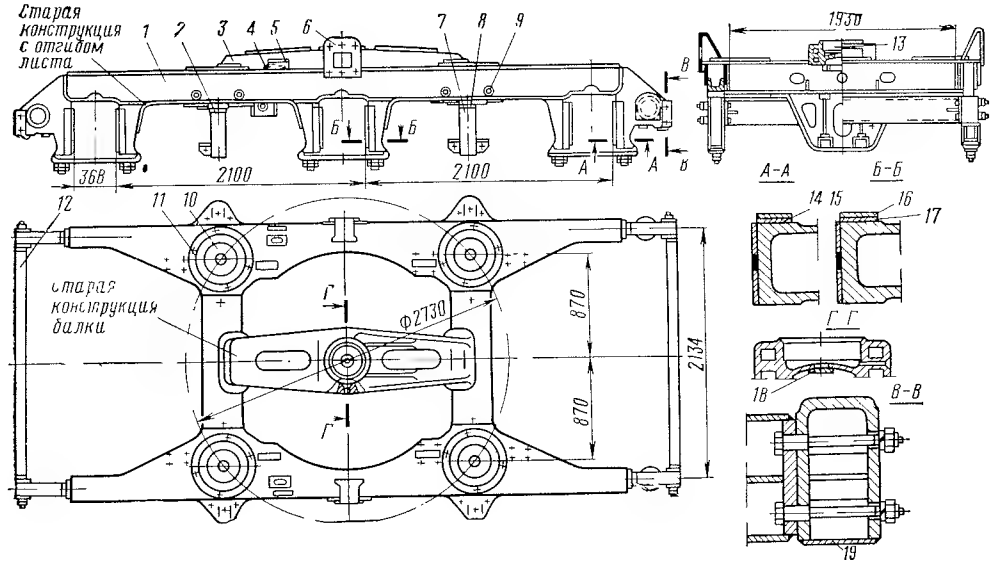


Рис. III-66. Рама тележки тепловоза ТЭ3:

1 — продольная балка; *2* и *7* — кронштейны поперечных балок; *3* — продольная шкворневая балка; *4* — направляющая скоба; *5* — угольник; *6* — кронштейн для крепления тормозного цилиндра; *8* — опора рессоры; *9* — бонка; *10* — диск; *11* — кольцо; *12* — концевая поперечная балка; *13* — подкладка; *14* и *17* — подкладки; *15* — наличник внутренний; *16* — наличник боковой; *18, 19* — заделки

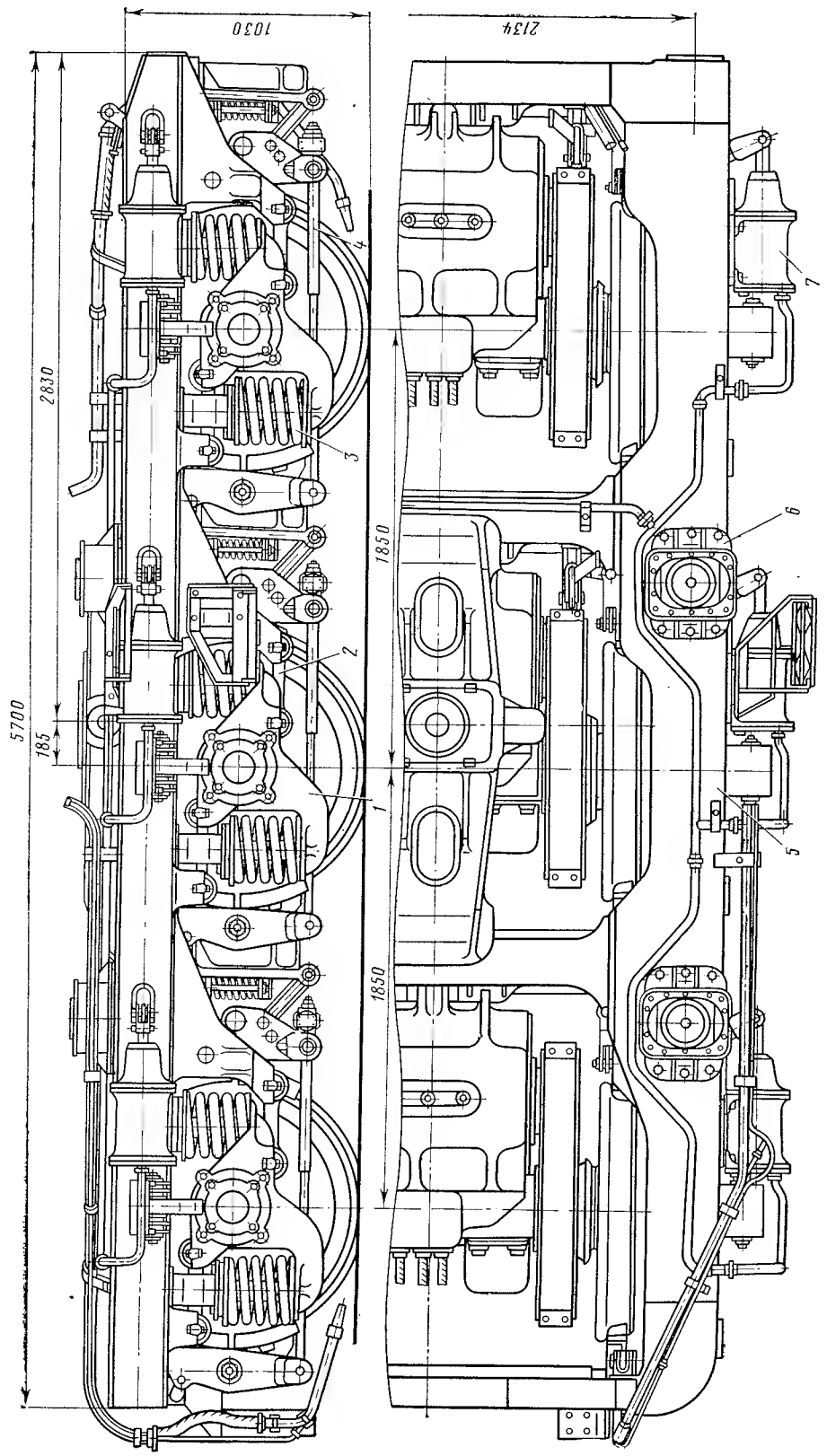
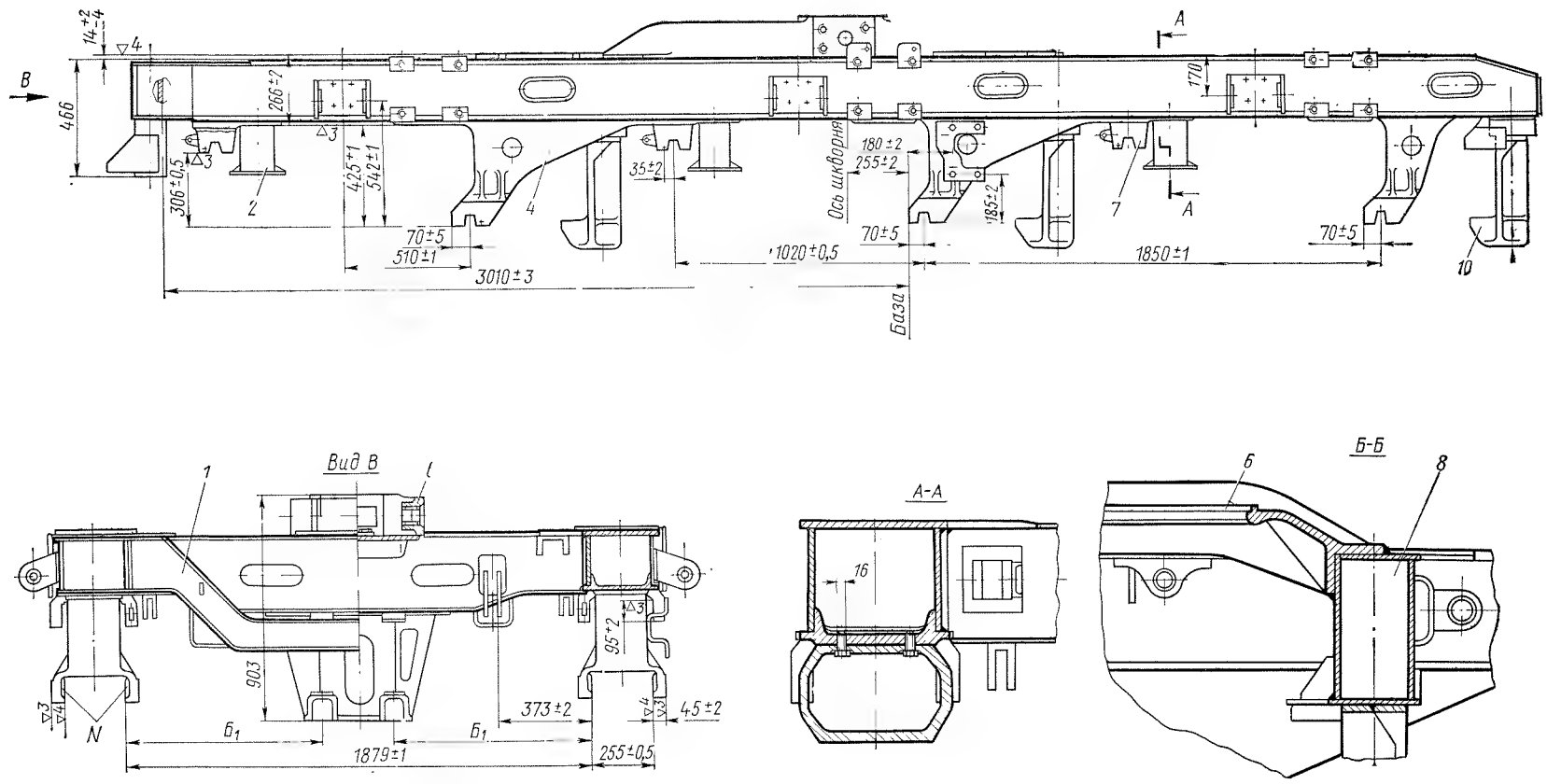


Рис. III-67. Бесчелюстная тележка тепловоза 2ТЭ116:

1 — букса; *2* — поводок; *3* — пружина подвешивания; *4* — тормозная рычажная передача; *5* — рама тележки; *6* — опора кузова; *7* — тормозной цилиндр



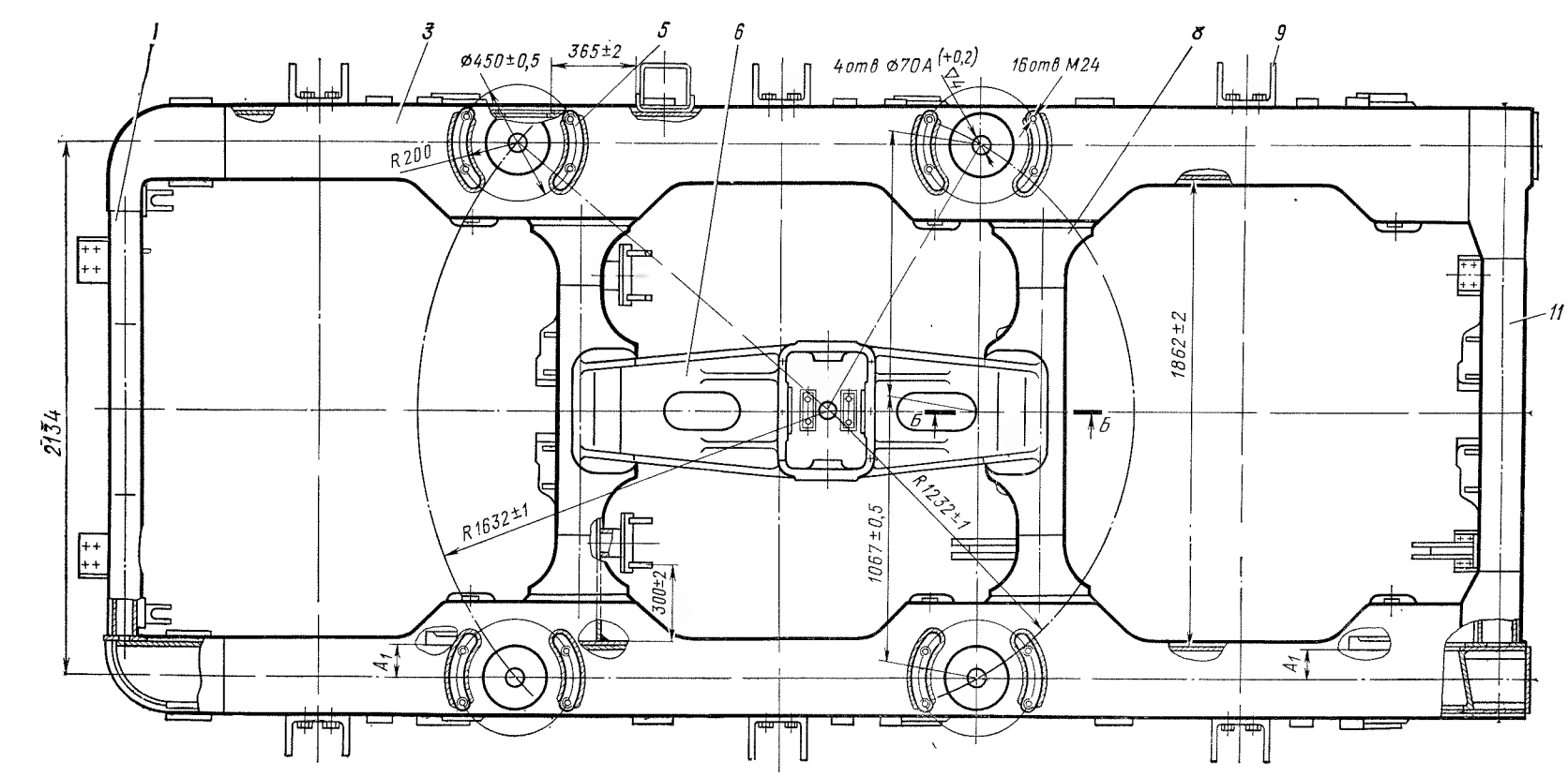


Рис. III-68. Рама бесчелюстной тележки тепловоза 2ТЭ116:

1, 11 — концевые поперечные балки; *2* — опора пружин подвешивания; *3* — продольная балка; *4* — большой кронштейн буксового поводка; *5* — подкладка; *6* — шкворневая балка; *7* — малый кронштейн буксового поводка; *8* — средняя поперечная балка; *9* — кронштейн фрикционного демпфера; *10* — кронштейн траверсного подвешивания тягового двигателя

Таблица III-14

Основные требования к установке кронштейнов буксовых поводков

Показатели	Тепловозы серий		
	2ТЭ116	2ТЭ10Л	ТЭП60
Непараллельность поверхностей *N* (см. рис. 68 и 70) в одном буксовом узле, мм, не более	0,2	—	0,25 на длине 85 мм
Непараллельность общей плоскости поверхностей *N* трех кронштейнов правой боковины с такой же плоскостью левой боковины, мм, не более	1	1	—
Относительное смещение пазов кронштейнов двух боковин, мм, не более	0,6	0,6	—
Непараллельность осей каждой пары пазов кронштейнов в одном буксовом узле (размер 1020 ± 0,5), мм, не более	1 на длине 345 мм	—	—
Неперпендикулярность оси пазов кронштейнов двух боковин к общей плоскости поверхностей *N* трех кронштейнов, мм, не более	1 на длине 3700 мм	1 на длине 3700 мм	0,5 на длине 1985 мм
Поперечное смещение продольной оси шкворневой балки относительно поверхностей *N*, мм, не более	2	2	—
Неперпендикулярность поверхностей *N* к оси пазов, мм, не более	—	—	0,2 на длине 125 мм
Расстояние между осями пазов кронштейнов в одном буксовом узле, мм	1020±0,5	1020±0,5	1050±0,3 (допускается 1050±0,5 мм, но при максимальной разнице этих размеров у двух боковин 0,6)
Разность размеров (см. рис. III-68 и III-70), мм, не более:			
A_1	2	2	—
$Б_1$	8	8	—
$В_1$	—	—	0,5

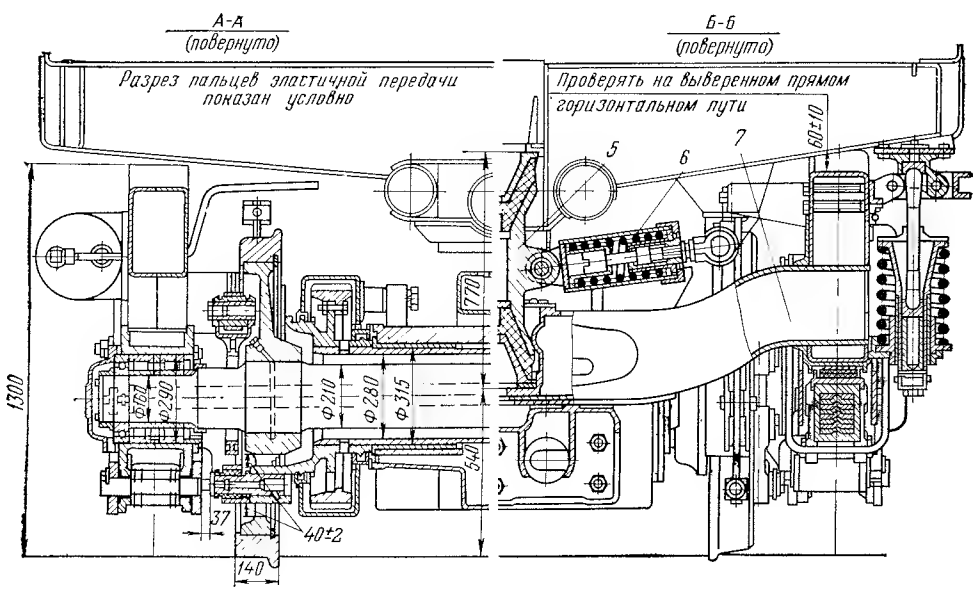


Рис. III-69. Поперечный разрез тележки тепловоза ТЭП60

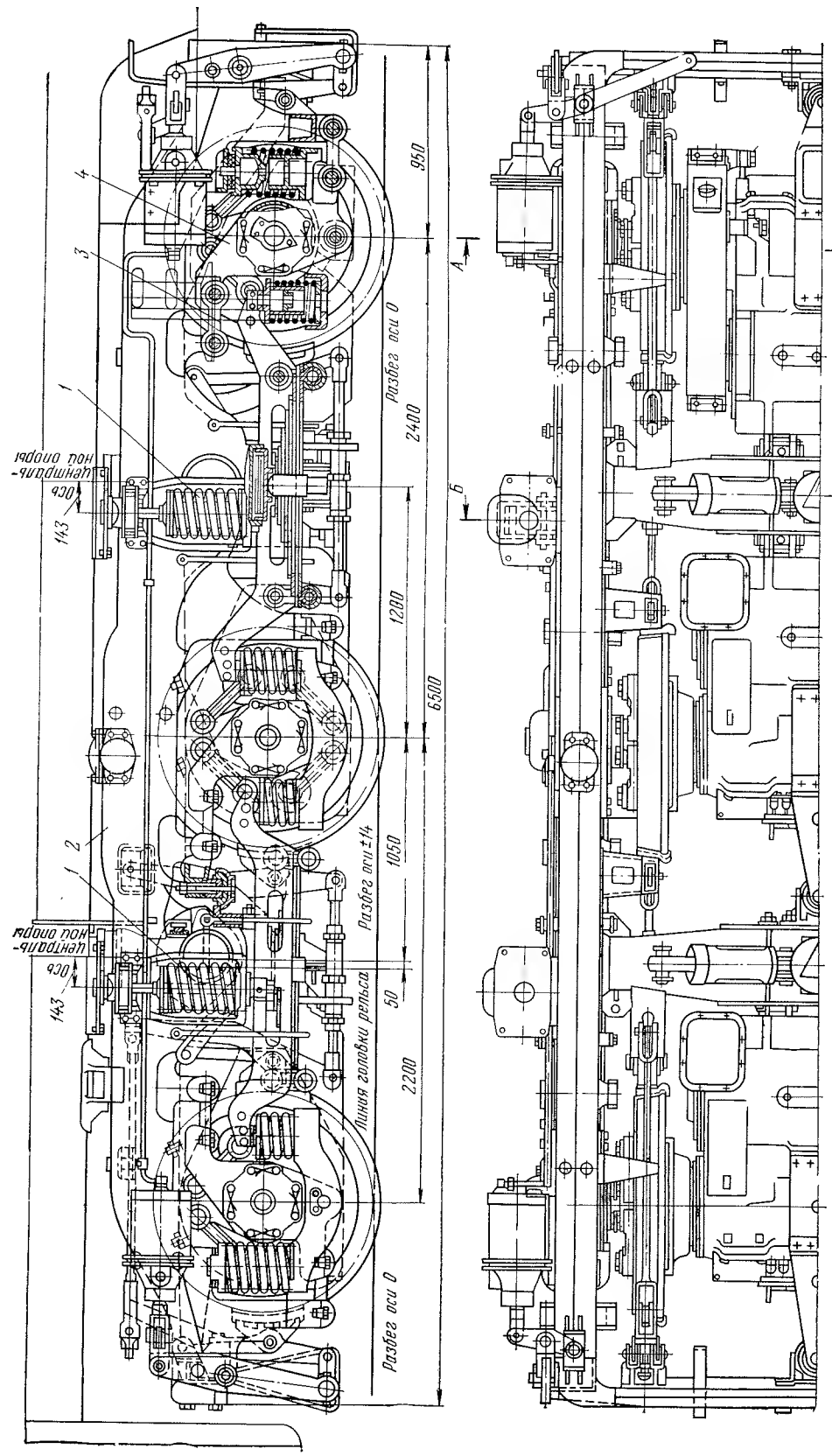


Рис. III 69а. Тележка тепловоза ТЭП60.

1 — боковая опора кузова; *2* — рама тележки; *3* — поводок буксы; *4* — букса; *5* — центральная опора кузова; *6* — возвращающее устройство; *7* — шкворневая поперечная балка

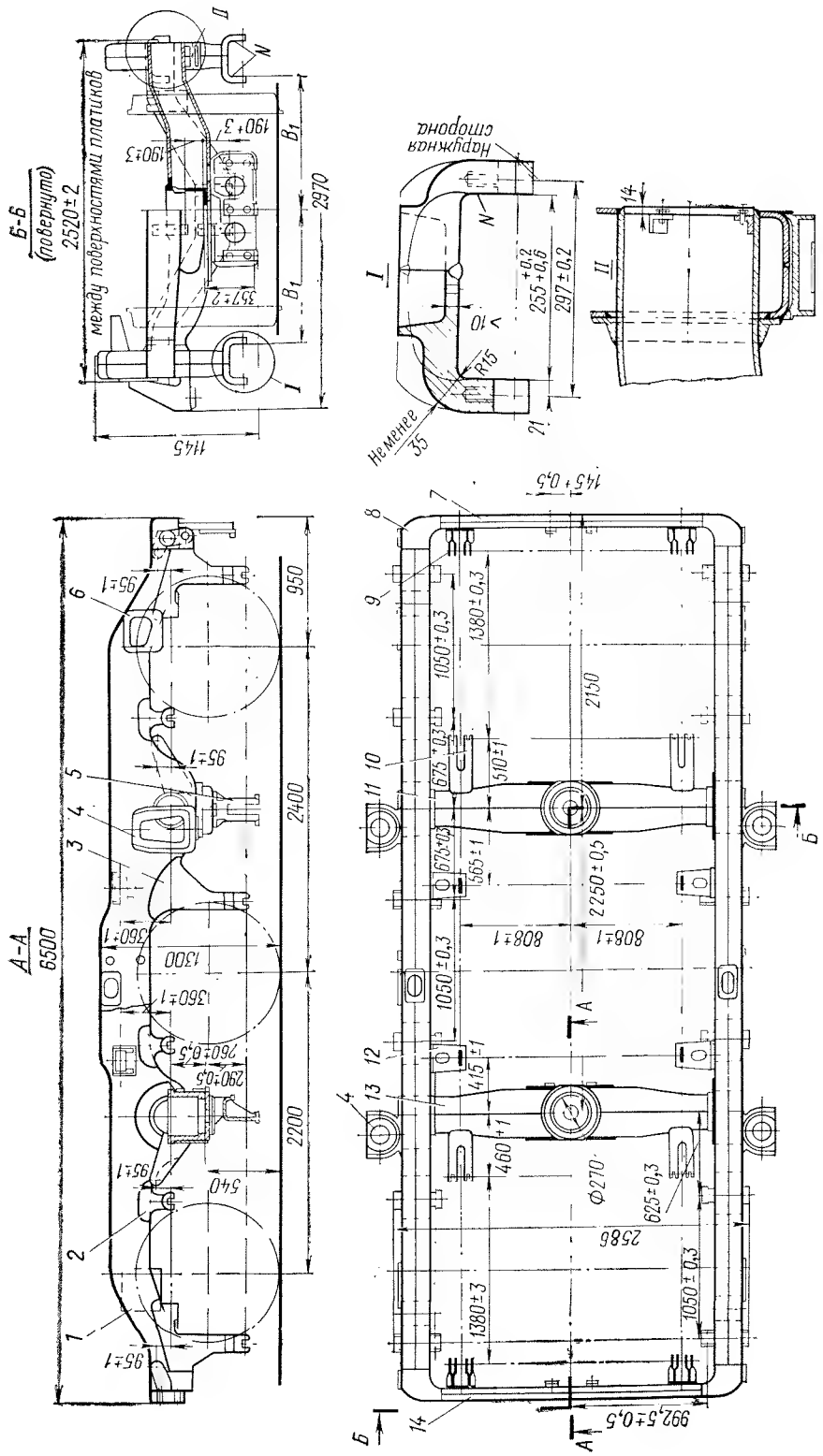


Рис. III-70. Рама тележки тепловоза ТЭП60:

1 — продольная балка; 2 — малый кронштейн буксового поводка; 3 — большой кронштейн буксового поводка; 4 — кронштейн боковой опоры кузова; 5 — кронштейн опоры тягового двигателя; 6 — платик под тормозной цилиндр; 7 и 14 — концевые поперечные балки; 8 — угольник; 9, 10 и 12 — кронштейны тормозных подвесок; 11 и 13 — шкворневые балки

В готовой раме непараллельность плоскостей дна стаканов двух центральных опор не должна превышать 1 мм на длине 2250 мм. Их параллельное смещение по вертикали более чем на 0,5 мм не допускается. Отклонение от параллельности двух продольных балок рамы не должно превышать 2,5 мм на их длине в продольном направлении, а относительное вертикальное смещение — 2,5 мм.

В собранной тележке проверяют зазоры между буксовыми балансирами и болтами шарнирных соединений шарнирно-поводковой муфты (40 мм), зазоры между ее валиками и диском колесного центра (11 мм), а также положение полого вала относительно колесных центров.

Перед установкой кузова на тележках необходимо проверить расположение контрольных рисок на центральных опорах и раме кузова; относительное смещение рисок более 0,5 мм не допускается. После установки кузова проверяют зазоры между ограничителями отклонений кузова: горизонтальный зазор должен быть 40 ± 5 мм, а вертикальный 35 ± 5 мм.

Масса тележки с тяговыми двигателями и тормозным оборудованием (без главных и боковых опор) 28 330 кг.

Рама тележки (рис. III-71) тепловоза ЧМЭ3 не имеет концевых балок (они заменены консолями, к которым крепятся детали тормозной системы). Рама сварная, в ее конструкции использованы сварные и литые элементы.

Нагрузка от кузова тепловозов ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭ109 и 2ТЭ116 передается на каждую тележку через четыре роликовых опорно-возвращающих устройства. Центральные шкворни тепловозов ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10, 2ТЭ10Л допускают только поворот тележки, а теп-

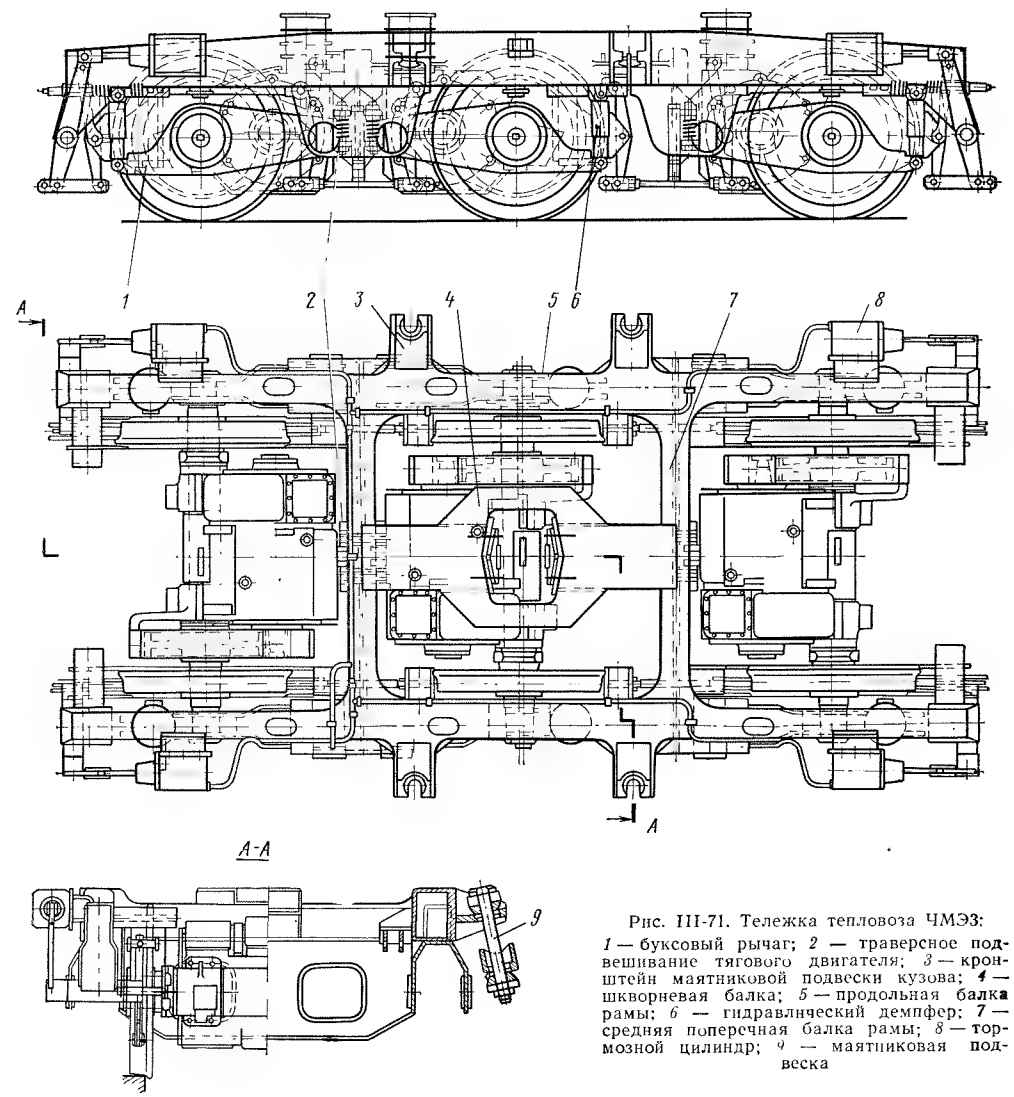


Рис. III-71. Тележка тепловоза ЧМЭ3:

1 — буксовый рычаг; 2 — траверсное подвешивание тягового двигателя; 3 — кронштейн маятниковой подвески кузова; 4 — шкворневая балка; 5 — продольная балка рамы; 6 — гидравлический демпфер; 7 — средняя поперечная балка рамы; 8 — тормозной цилиндр; 9 — маятниковая подвеска

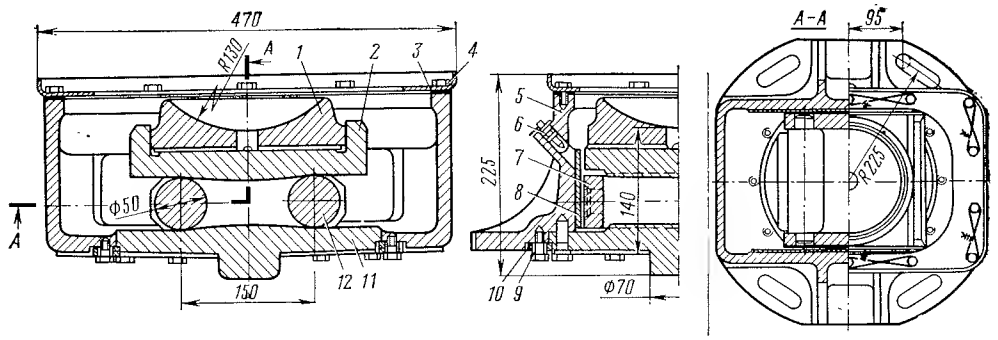


Рис. III-72. Роликовая опора кузова тепловозов ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10 и 2ТЭ10Л:
1 — гнездо; *2* — верхняя опорная плита; *3* — крышка; *4* — прокладка; *5* — корпус опоры; *6* — маслоуказатель; *7* — обойма; *8* — планка, *9* — нажимное кольцо; *10* — прокладка; *11* — нижняя опорная плита; *12* — ролик

ловозов 2ТЭ116 также и поперечное перемещение тележки относительно кузова.

Корпус опоры (рис. III-72) литой из стали 35ЛI или 35ЛКI. Верхнюю и нижнюю опорные плиты изготовляют из стали марки 12Х2Н4А или 20Х2Н4А ГОСТ 4543—71. Поверхность рабочего профиля опорной плиты цементируют и закаляют. Глубина цементированного слоя после обработки 1,3—1,6 мм. Твердость закаленной поверхности HRC ⩾ 156, твердость сердцевины HRC 35—47.

Гнездо и обойму изготовляют из стали 45. Шаровую поверхность гнезда проверяют по калибру. Пятно краски должно занимать не менее 70% площади при равномерном распределении. Гнездо фосфатируют. Твердость после термообработки НВ 253—302. Цилиндрическую наружную поверхность гнезда закаляют токами высокой частоты на глубину 1,5—4 мм. Твердость ее HRC ⩾ 50. Материал роликов — сталь 45Х ГОСТ 4543—71.

Рабочую поверхность диаметром 60 мм закаляют токами высокой частоты на глубину 1,5—3 мм до твердости HRC ⩾ 54. Ролики проверяют магнитным дефектоскопом.

Величины возвращающих сил и момента сил трения зависят от угла наклона рабочих поверхностей опорных плит и угла

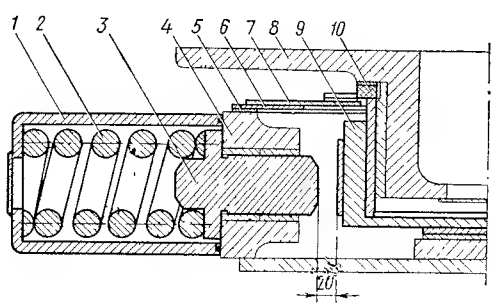


Рис. III-73. Противоотносное устройство тележки тепловоза 2ТЭ116:
1 — стакан; *2* — пружина; *3* — упор; *4* — корпус; *5* — прокладка; *6* — уплотнение; *7* — крышка; *8* — шкворень; *9* — ползун; *10* — уплотнительное кольцо

поворота опор. Угол наклона поверхностей опорных плит должен быть равен 2°, а угол поворота опор 5° у тепловозов ТЭ3, 2ТЭ10Л, ТЭ10 и 8° — у ТЭП10Л. Подвижная система опоры должна возвращаться в среднее положение под действием собственного веса при перемещении ее на 60 мм. При правильной установке опор на раме тележки установочная риска на корпусе опоры совпадает с соответствующей риской на опорном кольце рамы. Допустимое несовпадение ± 2 мм. Корпус опоры крепят к раме тележки. На тепловозах ТЭ3 выпуска до 1963 г. отверстия в корпусе делались удлиненными для возможности изменения угла поворота опоры; у тепловозов поздних выпусков опоры имеют четыре отверстия диаметром 28 мм.

Противоотносные устройства (рис. III-73) тележек тепловозов 2ТЭ116 создают возвращающую силу, если относительное поперечное перемещение превышает ± 20 мм (наибольшее поперечное перемещение ± 40 мм). Основные параметры пружины противоотносного устройства тепловоза 2ТЭ116 следующие:

Средний диаметр пружины .	85 мм
Диаметр прутка	28 »
Число витков:	
полное	6
рабочих	4,5
Жесткость пружины . . .	330 кгс/мм
Материал	Сталь 55С2 или 60С2

Кузов тепловоза ТЭМ2 имеет скользящие опоры (рис. III-74). Четыре опоры каждой тележки расположены на окружности диаметром 2730 мм. В литом корпусе (сталь 25ЛI) находится опорная плита (сталь 20) и опорное гнездо (сталь 45), нижнюю рабочую поверхность которого армируют сплавом ЦАМ9-1,5 ГОСТ 7117—62 или бронзой Бр. ОЦС4-4-17 ГОСТ 613—65. Рабочую поверхность опорной плиты цементируют и закаляют. Глубина цементированного слоя после обработки 1,5—2 мм, твердость поверхности после закалки HRC 55—60. При установке опоры необходимо следить за тем, чтобы

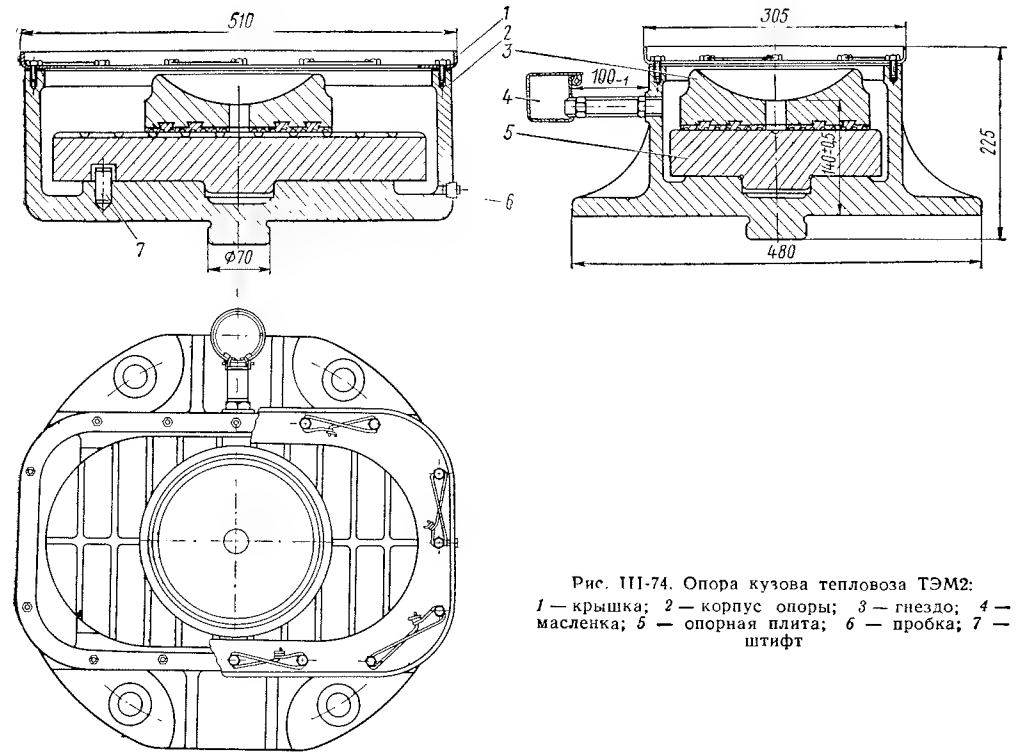


Рис. III-74. Опора кузова тепловоза ТЭМ2:
1 — крышка; *2* — корпус опоры; *3* — гнездо; *4* — масленка; *5* — опорная плита; *6* — пробка; *7* — штифт

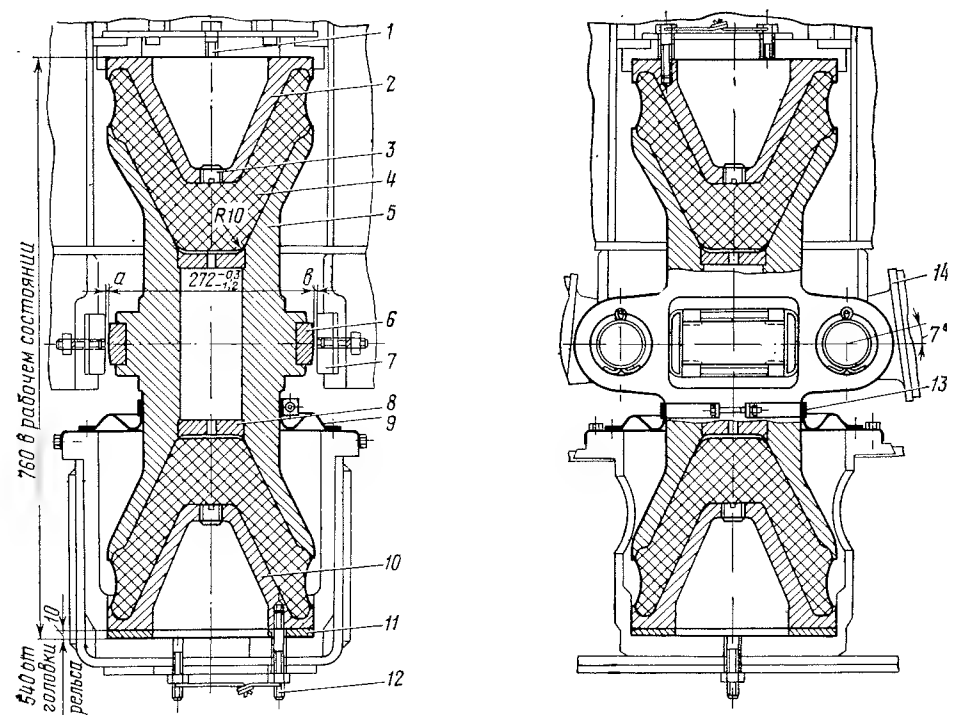


Рис. III-75. Центральная опора кузова тепловоза ТЭП60:
1 — болт, фиксирующий положение конуса; *2* — верхний стальной конус; *3* — заглушка резьбовая; *4* — резиновый конус; *5* — стойка опоры; *6* и *7* — вкладыши (камни); *8* — заглушка; *9* — защитный чехол; *10* — нижний стальной конус; *11* — прокладка; *12* — фиксирующая шпилька; *13* — хомут защитного чехла; *14* — возвращающий аппарат

установочная риска на корпусе совпадала с риской 0° на опорном кольце рамы тележки. Допускается отклонение рисок ± 1,5°.

Кузов тепловоза ТЭП60 опирается на каждую тележку через две центральные и четыре боковые опоры. Стойки центральных опор (рис. III-75) и конусы литые из стали 25ЛII; резиновые конусы — из резины марки 10332 ТУ233-54Р (допускается применение резины другой марки, удовлетворяющей аналогичным техническим требованиям). Твердость резины по Шору 55 единиц. На наружной поверхности конуса указывается величина деформации при нагрузке 11 тс. Деформация (осадка) более 15 мм не допускается. На одной тележке можно устанавливать конусы с разницей вертикальных деформаций не более 2 мм. Сила тяги от стойки опоры на кронштейны рамы кузова передается через вкладыши (камни) из стали 45, закаленные до твердости HRC 40—45. Суммарный зазор *а* + *в* (см. рис. III-75) между вкладышами (камнями) и упорами кронштейнов должен находиться в диапазоне 0,3—1,3 мм. Для получения размера $272^{0}_{-1,3}$ мм допускается шлифовка поверхности вкладышей (камней) на собранной опоре.

Для регулирования распределения нагрузок по колесным парам допускается установка регулировочных прокладок (колец) под нижние стальные конусы. Общая толщина колец на одной опоре не должна превышать 30 мм.

Возвращающие аппараты (рис. III-76) центральных опор имеют предварительный натяг 1500 кгс. Предварительный натяг и размер 360 ± 1 мм устанавливают подбором прокладок; при этом необходимо предусмотреть обеспечение максимального рабочего перемещения 50 мм. Основные параметры пружины возвращающего аппарата тепловоза ТЭП60 следующие:

Полное число витков	8
Число рабочих витков	6,5
Высота в свободном состоянии	333^{+9}_{-3} мм
Диаметр прутка	33 мм
Средний диаметр пружины, мм	120 »
Жесткость пружины	95,5 кгс/мм
Предварительное сжатие	15,7 мм

На тепловозах ТЭП60 начиная с № 0025 для увеличения момента сил трения применяют только опоры с трением. У этих опор (рис. III-77) плита *2* изготовлена из стали 50Г. После термической обработки ее твердость HRC 45—50. Стакан *15* литой из чугуна ВЧ50-1,5 (допускается СЧ24-44 ГОСТ 1412—70). Технические требования на отливку, метод испытания и маркировка согласно ГОСТ 7293—70. Скоба *3* выполнена из стали 35ЛII ГОСТ 977—65*.

Втулки валиков *14* и *16* — металлокерамические (состав порошка: Fe 96%; C 1,5%; Cu 2,5%), пропитанные маслом. Пористость 18—28%. Стакан *11* из стали 40 имеет закаленную поверхность. Глубина закаленного слоя 1,5—2,5 мм, твердость HRC 35—45. Шаровые поверхности стойки *4* (материал — сталь 45) подвергают термообработке; на высоте не менее 15 мм твердость HRC 40—55. Опорные вкладыши (сталь 40ХС ГОСТ 4543—71) должны иметь твердость HRC 40—55.

Основные параметры пружины боковой опоры кузова тепловозов ТЭП60 начиная с № 0025 следующие:

Число витков:	
полное	7
рабочих	5,5
Высота в свободном состоянии	418± мм
Высота под расчетной нагрузкой 4750 кгс	320±10 мм
Высота при полном сжатии	254 мм
Диаметр прутка	38 »
Средний диаметр пружины	205 »
Жесткость пружины	48,4 кгс/мм
Масса	40 кг

Непараллельность опорных поверхностей пружины более 2 мм на длине 250 мм не допускается. На тепловоз подбирают пружины с разностью высот под расчетной

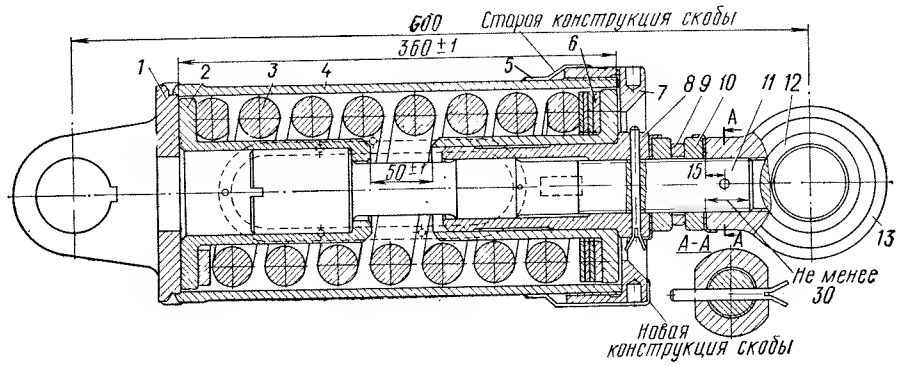


Рис. III-76. Возвращающий аппарат:

1 — проушина со стороны центральной опоры; *2* — стакан; *3* — пружина; *4* — корпус; *5* — предохранительная скоба; *6* — регулировочные прокладки; *7* — крышка корпуса; *8* — втулка стяжки; *9* — регулировочное кольцо; *10* — контргайка; *11* — стяжка; *12* — металлокерамическая втулка; *13* — проушина со стороны кронштейна рамы кузова

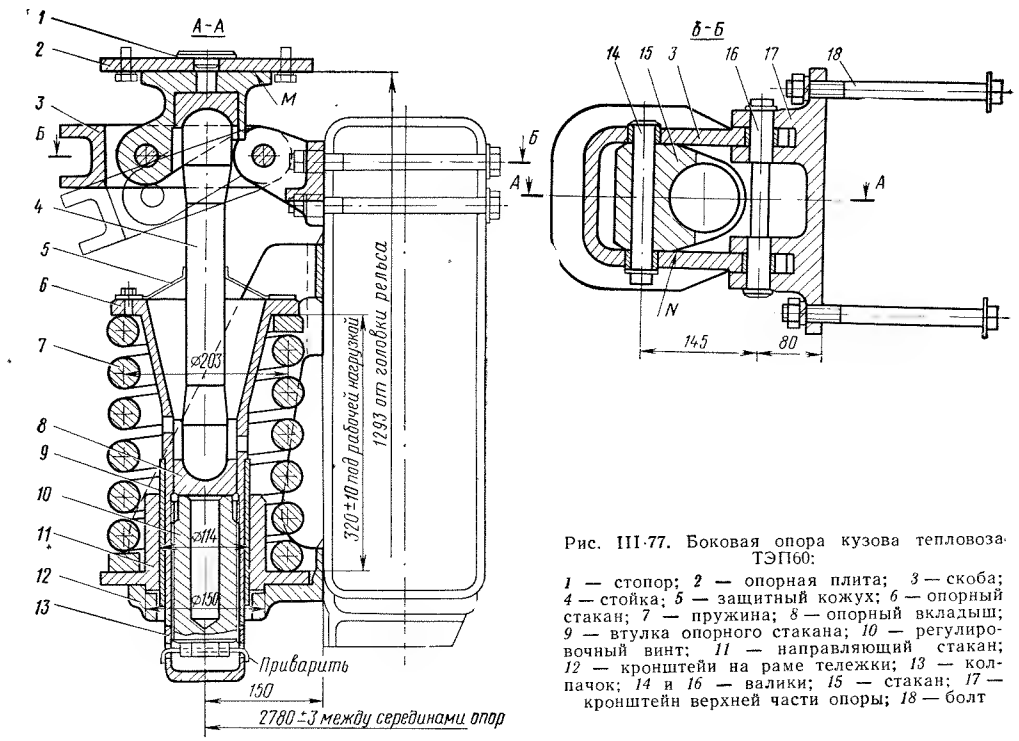


Рис. III-77. Боковая опора кузова тепловоза ТЭП60:

1 — стопор; *2* — опорная плита; *3* — скоба; *4* — стойка; *5* — защитный кожух; *6* — опорный стакан; *7* — пружина; *8* — опорный вкладыш; *9* — втулка опорного стакана; *10* — регулировочный винт; *11* — направляющий стакан; *12* — кронштейн на раме тележки; *13* — колпачок; *14* и *16* — валики; *15* — стакан; *17* — кронштейн верхней части опоры; *18* — болт

нагрузкой не более 3 мм. Окончательную сборку и регулировку боковых опор ведут после установки кузова. Высоту пружин (320 ± 10 мм) регулируют винтами *10* на прямом горизонтальном пути при полном служебном весе тепловоза. После регулировки положение винтов *10* фиксируют колпачками *13*. До сборки поверхности трения *М*, *N* и ⌀114 (см. рис. III-77) необходимо смазать солидолом.

Кузов тепловоза ЧМЭ3 имеет маятниковое подвешивание: к каждой тележке он подвешен на четырех наклонных подвесках (рис. III-78). Болты подвесок образуют ребра пирамиды, вершина которой находится на вертикальной оси шкворня. Конструкция обеспечивает возврат тележки в среднее положение при ее поперечном перемещении и повороте относительно кузова. Площадь прилегания шаровой поверхности опоры и седла должна быть не менее 80%. Допускается притирка поверхностей с помощью притирочной пасты. Рессорное подвешивание тепловозов ТЭ3 показано на рис. III-79, а подвешивание тепловозов 2ТЭ10Л, ТЭ109 и 2ТЭ116 с бесчелюстными тележками — на рис. III-80.

Рессоры тепловозов ТЭ3, ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭМ2, ТЭМ1 изготовляют из рессорной полосовой желобчатой стали А16 × 120 ГОСТ 7419—74 марки 60С2. Допуск на толщину заготовки пластины $16^{+0,3}$ мм; минимальная толщина после термообработки 15,5 мм. Неперпендикулярность торцов — не более 4 мм на ширине пластины 120 мм, а скос торцов не более 2 мм. Термообработка — закалка в масле; твердость НВ 363—432. Хомуты — кованые из стали Ст3.

Основные параметры рессор приведены в табл. III-15. У готовой рессоры разность расстояний от ее середины до осей отверстий в коренном листе не должна превышать 3 мм. В зависимости от фактической стрелы прогиба под расчетной нагрузкой рессоры делятся на две группы. На тележку подбирают рессоры одной группы. Знак группы указывают на боковой поверхности хомута. Расстояние от оси отверстия втулок до поверхности коренного листа должно быть у рессор группы I тепловозов ТЭ3, 2ТЭ10Л — 90 ± 1 мм, ТЭМ2 — 169 ± 1 мм, а у рессор группы II соответственно 94 ± ± 1 мм и 165 ± 1 мм.

У рессор тепловозов ТЭ3, ТЭ10 и 2ТЭ10Л допускается отклонение от параллельности общей оси отверстий в хомуте и поверхности коренного листа не более 0,3 мм на длине 120 мм. Ось отверстия для валика в основании пружинного комплекта и опорные поверхности под пружины должны быть параллельными; отклонение более 1 мм не допускается. Поверхность балансира (материал сталь 25 или Ст3кп), опирающуюся на закаленную опору буксы, наплавляют электродами марки Ж4 или 50ХФА. Толщина наплавленного слоя 2,5—3,5 мм, твердость НВ ⩾ 415.

Подвеска рессоры литая из стали 25ЛII (или 30ЛII) ГОСТ 977—65. Несоосность отверстий диаметром 60 мм в проушинах не допускается более 0,05 мм, а непараллельность и перекос осей верхнего и нижних отверстий — не более 0,1 мм на длине

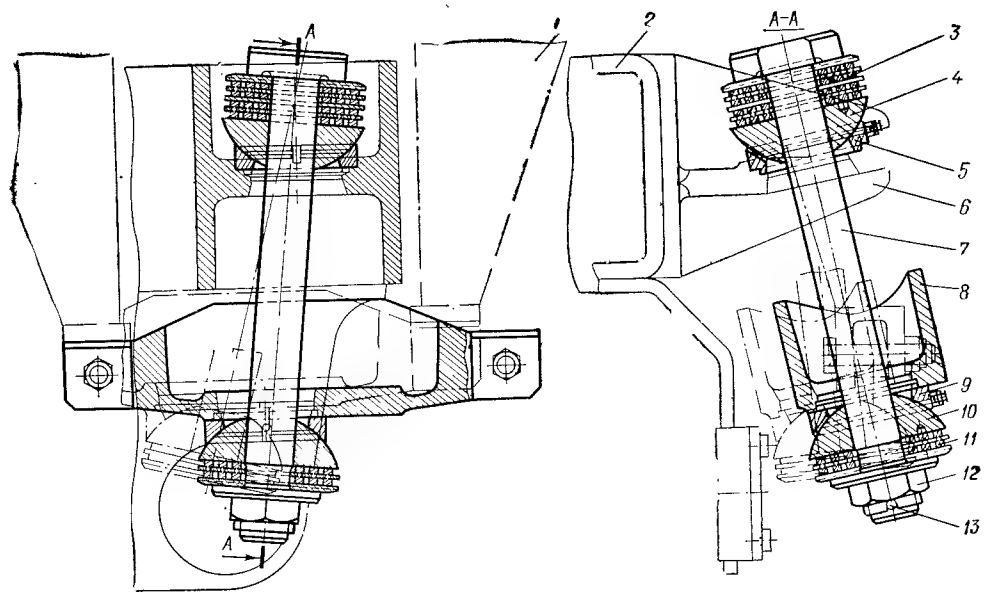


Рис. III-78. Маятниковая подвеска кузова тепловоза ЧМЭ3:

1 — кронштейн рамы кузова; *2* — продольная балка рамы тележки; *3, 11* — упругие резино-металлические прокладки; *4, 10* — верхняя и нижняя сферические опоры; *5, 9* — верхнее и нижнее седла; *6* — кронштейн рамы тележки; *7* — болт подвески; *8* — балка; *12* — гайка; *13* — штифт

200 мм. Разность в толщине двух проушин подвески не должна превышать 1 мм.

Пружины подвешивания (табл. III-16) изготовляют из стали 55С2, 60С2 или 60С2А.

После термообработки твердость прутка, определяемая на боковой поверхности опорного витка, должна быть HRC 40—47. У готовой пружины ее образующая должна быть перпендикулярна торцам; отклонение более 4 мм не допускается. Разность между максимальной и минимальной величинами шага не должна быть более 2,4 мм. Пружины до окраски подлежат проверке дефектоскопом. На тележку устанавливают пружины одной группы.

В подвешивании бесчелюстных тележек тепловозов 2ТЭ10Л, 2ТЭ116, ТЭ109 устанавливают фрикционные гасители колебаний (между корпусом каждой буксы и рамой тележки, рис. III-81). Трущаяся пара сталь—металлокерамика, расчетный коэффициент трения 0,4. Сила трения достигает 5% подрессоренного веса. Размер *а* должен быть 93—96 мм. Браковочная толщина металлокерамических дисков 4 мм. В буксовом подвешивании тепловозов

Таблица III-15

Основные данные рессор подвешивания тепловозов

Показатели	Тепловоз серии			
	ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭМ2	ТЭМ1, ТЭМ2	ТГ102	ТЭП60
Длина под нагрузкой, мм	1150	1150	1550	1046±5
Ширина листа, мм	120	120	120	120
Толщина листа, мм	16	16	16	16
Число листов:				
коренных	2	2	4	2
наборных	6	6	7	6
Ширина хомута, мм	120^{+3}_{-2}	110^{+1}_{-2}	110^{+1}_{-2}	110
Стрела прогиба в свободном состоянии, мм	70,5	45	89^{+5}	39±3
Статический прогиб, мм	45,5±3,5	44±3,5	78,5±6,3	39±3
Статическая нагрузка, кгс	8500	8200	8100	9100
Нагрузка при испытаниях, кгс	14200	14200	14530	15550
Масса, кг	123	114,5	212,6	104
Жесткость, кгс/мм	185	185	103	233

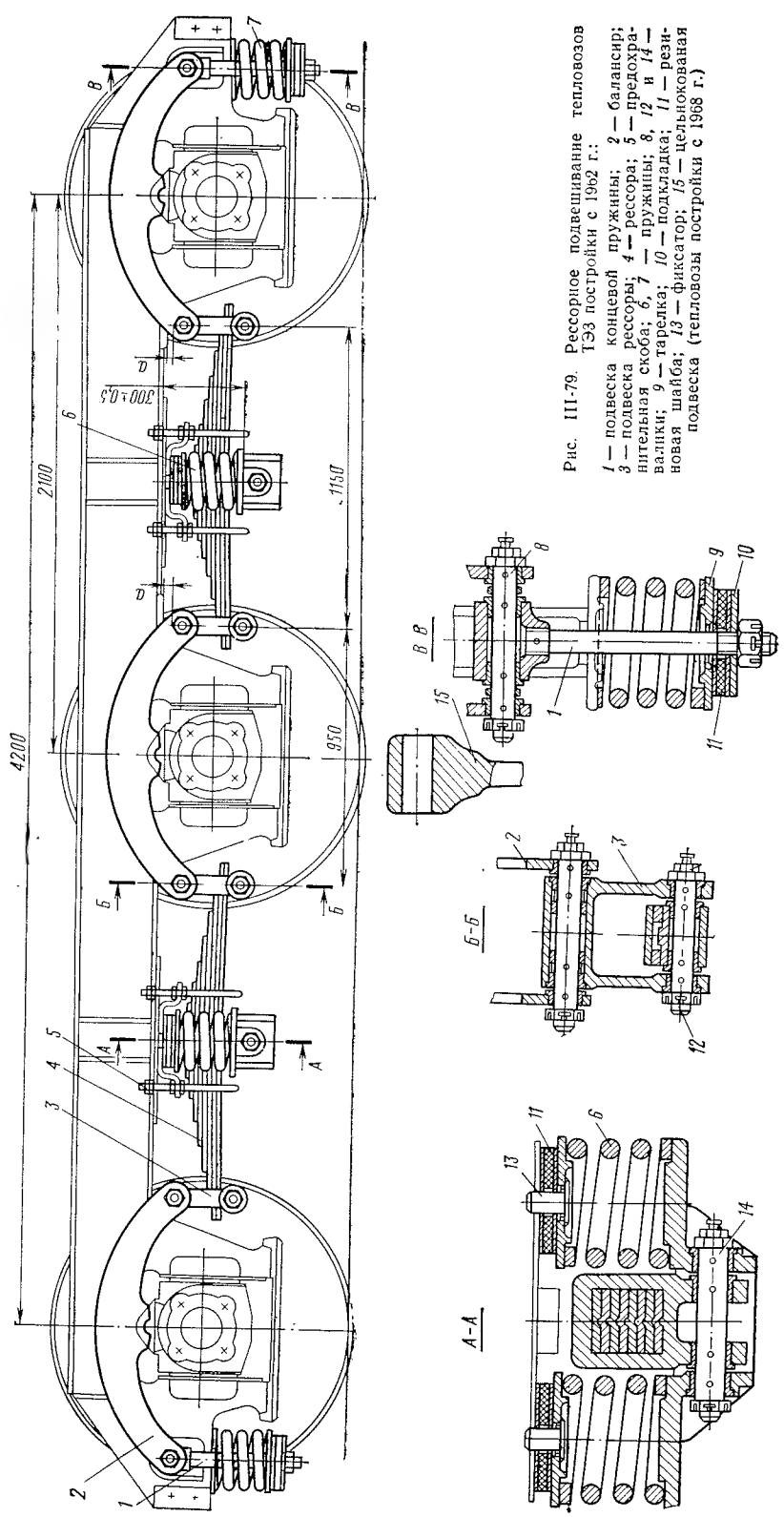


Рис. III-79. Рессорное подвешивание тепловозов ТЭ3 постройки с 1962 г.:

1 — подвеска концевой пружины; *2* — балансир; *3* — подвеска рессоры; *4* — рессора; *5* — предохранительная скоба; *6, 7* — пружины; *8, 12* и *14* — валики; *9* — тарелка; *10* — подкладка; *11* — резиновая шайба; *13* — фиксатор; *15* — цельнокованая подвеска (тепловозы постройки с 1968 г.)

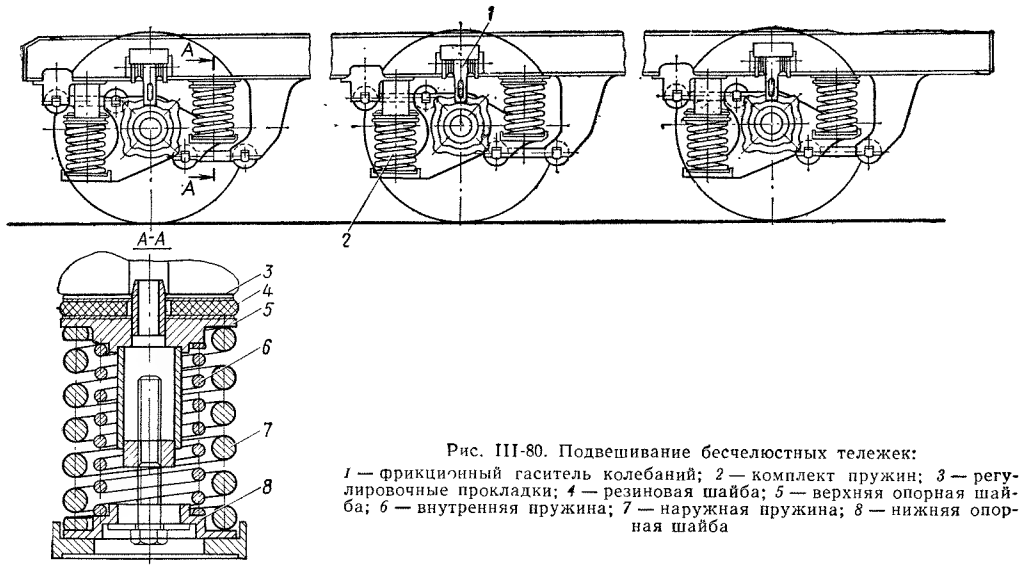


Рис. III-80. Подвешивание бесчелюстных тележек:

1 — фрикционный гаситель колебаний; *2* — комплект пружин; *3* — регулировочные прокладки; *4* — резиновая шайба; *5* — верхняя опорная шайба; *6* — внутренняя пружина; *7* — наружная пружина; *8* — нижняя опорная шайба

ЧМЭ3 установлены гидравлические демпферы.

Характеристики резино-металлических элементов, применяющихся в рессорном подвешивании, приведены в табл. III-17. Отслоение резины, пузыри, трещины и расслоения не допускаются. Относительное параллельное смещение стальных шайб не должно превышать 0,5 мм.

Основные данные валиков и втулок шарниров подвешивания тепловозов ТЭ3, 2ТЭ10Л, ТГ102 и ТЭМ2, изготовляемых из различных материалов, приведены в табл. III-18 и III-19.

После сборки рессорного подвешивания его положение контролируют на прямом горизонтальном участке пути. У экипированного тепловоза разность размеров *а* у концов одной рессоры (см. рис. III-79) не должна превышать 35 мм у тепловозов ТЭ3, ТЭ10 и 2ТЭ10Л и 30 мм у тепловозов ТЭМ1 и ТЭМ2.

На тепловозе ТЭП60 применено двойное сопряженное подвешивание (рис. III-82), упругими элементами которого являются листовые рессоры, пружины и резино-металлические шайбы. Основные параметры рессор и пружин приведены в табл. III-15 и III-16. Листовые рессоры изготовляют из желобчатой стали (ГОСТ 7419—74) марки 55С2. Они должны отвечать требованиям ГОСТ 1425—62*. Рессора комплектуется из листов одной градации 120^{+1} или 120^{-1} мм. Разница в длинах коренных листов комплекта не должна превышать 2 мм, а расстояний от середины рессоры до оси отверстий в коренных листах — 3 мм. На одну тележку устанавливают рессоры, у которых стрелы прогибов отличаются не более чем на 3 мм.

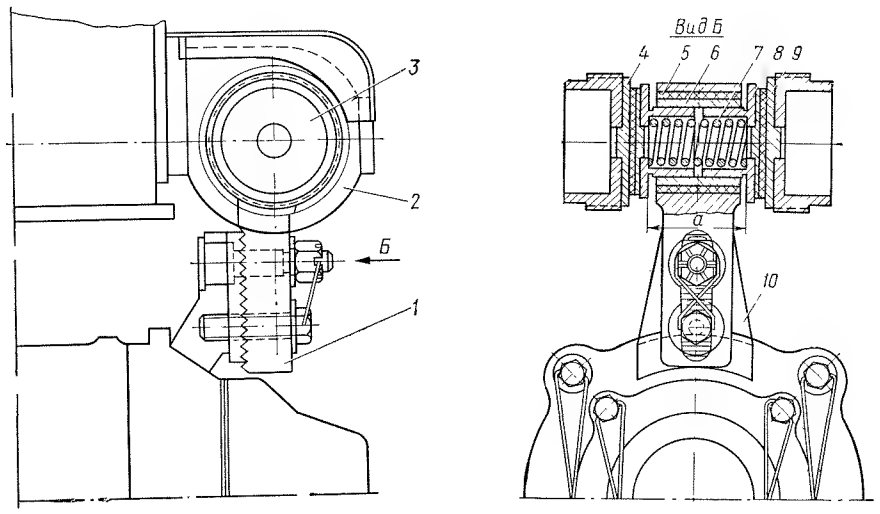


Рис. III-81. Фрикционный гаситель колебаний:

1 — тяга; *2* — кронштейн рамы тележки; *3* — нажимные гайки; *4* — стальные фрикционные диски; *5* — резиновая втулка; *6* — металлическая втулка; *7* — пружина; *8* — втулка; *9* — металлокерамический диск; *10* — кронштейн передней крышки буксы

Таблица III-16

Основные данные пружин подвешивания тепловозов

Показатели	Тепловоз серии				
	ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭМ2	ТГ102		ТЭП60	
		Наружная	Внутренняя	Концевая	Средняя
Средний диаметр, мм	200^{+2}_{-1}	154±2	107	205	185
Диаметр прутка, мм	$40^{+0,2}_{-0,6}$	36	19	38	38
Число витков:					
полное	4,5	6,5	11,5	7,0	6,0
рабочих	3,0	5,0	10,0	5,5	4,5
Высота в свободном состоянии, мм	235	350^{+9}_{-3}	350^{+9}_{-3}	394^{+9}_{-3}	305^{+7}_{-2}
Высота под статической нагрузкой, мм	190^{+2}	272,2	272,6	300	250
Статический прогиб, мм	45^{+5}_{-3}	$77,8^{+9,5}_{-6,3}$	$77,4^{+9,2}_{-6,2}$	94	55
Статическая нагрузка, кгс	4476	3540	770	4600	4600
Нагрузка при испытаниях, кгс	6600	4875	1280	—	—
Высота при полном сжатии, мм	165	—	—	254	216
Жесткость, кгс/мм	107	45,5	9,95	49	84
Навивка	Правая	Левая	Правая	Правая	Левая
Масса, кг	24,9	31,2	8,85	37,5	28,6

Продолжение

Показатели	Тепловоз серии					
	2ТЭ10Л с бесчелюстными тележками		2ТЭ116		ЧМЭ3	
	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя
Средний диаметр, мм	248	172	230	155	182	110
Диаметр прутка, мм	36	23	36	23	38	22
Число витков:						
полное	6,0	8,5	5,5	8,0	10,0	15,5
рабочих	4,5	7,0	4,0	6,5	8,5	14,0
Высота в свободном состоянии, мм	383	355	359	331	525	525
Высота под статической нагрузкой, мм	253	221	258	230	421	421
Статический прогиб, мм	130	134	101	101	104	104
Статическая нагрузка, кгс	3200	1052	3490	1160	4390	1356
Нагрузка при испытаниях, кгс	—	—	—	—	—	—
Высота при полном сжатии, мм	198	185	180	172,5	361	330
Жесткость, кгс/мм	24,6	7,85	34,5	11,5	42,2	13,0
Навивка	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая
Масса, кг	35,0	15,0	31,4	12,75	49,5	10,0

Пружины изготовляют из стали 55С2 (допускается изготовление из стали 60С2). Они должны удовлетворять требованиям ГОСТ 1452—69. У готовой пружины неперпендикулярность каждой из опорных поверхностей к оси не должна превышать 4 мм на высоте пружины, а непараллельность опорных поверхностей на длине 250 мм допускается не более 2 мм. На тележку подбирают пружины, у которых разность высот под нагрузкой не превышает 3 мм.

Балансиры листовых рессор изготовляют из стали 35 толщиной 20 мм. Два продольных элемента соединяют попарно по концам опорами, которые отливают из стали 25ЛII. Рабочие поверхности опор балансиров цементируют и закаливают до твердости HRC 40—50.

Буксовые балансиры и подвески рессор отливают из стали 25ЛII. Для валиков рессорного подвешивания применяется

Таблица III-17

Основные характеристики резино-металлических элементов в подвешивании

Тепловоз	Место установки	Марка резины	Размеры элемента, мм: Диаметр или стороны	Высота	Число слоев резины	Стальная шайба: Марка стали	Толщина, мм	Способ крепления резины к металлу
ТЭ3 ТЭМ1	Под концевыми пружинами	120С по ТУ № ШУ 33—54	∅220	$50^{+0,5}$	1	МСт3	2	Вулканизация или клей «Лейконат» (ТУ № 2841—52) с последующей вулканизацией
ТЭ3 ТЭ10 2ТЭ10Л	Над средними и под концевыми пружинами	120С по ТУ № ШУ 33—54 или 2462 группа III по ТУ 233—54Р	∅190±1	$31^{+0,5}$	1	МСт3кп	3	
ТЭМ2	То же	То же	∅220	31^{+2}	1	МСт3	3	
2ТЭ10Л с бесчелюстными тележками, ТЭ109, 2ТЭ116,	Над пружинами	120С по ТУ № ШУ 33—54	∅230/60*	31±0,5	1	МСт3кп	3	Вулканизация
ТЭП60	Над концевыми пружинами	2959 по ТУ 233—54Р	∅195±1	44	3	Наружная сталь 20	5	Клей № 88
						Внутренняя Ст3	2	
ТЭП60	Над рессорами	То же	315×150	44	3	То же	5	
						»	2	

* В числителе наружный диаметр, в знаменателе — внутренний.

Таблица III-18

Основные характеристики валиков шарниров рессорного подвешивания

Материал, ГОСТ	Длина, мм: общая	рабочей части	нарезки	Диаметр рабочей части, мм	Обработка рабочей поверхности
45Х ГОСТ 4543—71	—	$266^{+1,35}$	$23_{-0,62}$	$50^{-0,17}_{-0,34}$	Закалка токами высокой частоты на глубину 1,5—1,8 мм до твердости HRC ⩾ 55
45Х ГОСТ 4543—71	—	$202^{+1}_{-0,5}$	$23_{-0,52}$	$50^{-0,17}_{-0,34}$	
Ст5 ГОСТ 380—71 или сталь 35 ГОСТ 1050—74	304±1	—	$23_{-0,62}$	49,2±0,2	Покрытие полиамидной смолой 68с ГОСТ 10589—63 до $\varnothing\ 50^{-0,17}_{-0,34}$
То же	240±1	—	$23_{-0,52}$	49,2±0,2	
Ст3кп ГОСТ 380—71	—	$266^{+1,35}$	$23,5_{-0,52}$	$49^{-0,17}_{-0,34}$	Гальваническое покрытие до $\varnothing\ 50^{-0,17}_{-0,34}$ железоникель-кобальтовым сплавом
То же	—	$202^{+1,15}$	$23,5_{-0,52}$	$49^{-0,17}_{-0,34}$	Остальные поверхности изолируют полихлорвиниловым лаком в три слоя
Ст. 45 ГОСТ 1050—74	—	$280^{+1,35}$	$26_{-0,52}$	$62^{-0,2}_{-0,4}$	Закалка токами высокой частоты на глубину 1—2 мм до твердости HRC 45—52

Таблица III-19

Втулки шарниров рессорного подвешивания

Материал, ГОСТ	Диаметр, мм: наружный	внутренний после запрессовки	Длина втулки, мм: длинной	короткой	Размеры бурта, мм: Диаметр	Толщина	Обработка рабочей поверхности
40Х ГОСТ 4543—71	$60^{+0,15}_{+0,09}$	$50^{+0,17}$	65±±0,5	$30^{+0,5}_{-0,3}$	$64_{-0,74}$	$6_{-0,3}$	Закалка токами высокой частоты на глубину 1—1,2 мм до твердости HRC ⩾ 55
Ст3кп ГОСТ 380—71	$60^{+0,133}_{+0,087}$	$51^{+0,17}$	65±±0,5	$30^{+0,5}_{-0,3}$	$64_{-0,74}$	$6_{-0,3}$	Гальваническое покрытие до $\varnothing\ 50^{+0,17}$
Металлокерамика ЖГ1, 5Д2,5-20 (содержание серы не более 0,3%)	$60^{+0,21}_{+0,15}$	$50^{+0,17}$	$65^{+0,5}$	$30^{+0,5}_{-0,3}$	$64_{-0,74}$	$6_{-0,3}$	—
Сталь 45 или сталь 20 ГОСТ 1050—74	$70^{+0,135}_{+0,075}$	$62^{+0,2}$	$45_{-0,34}$		$84_{-0,87}$	$6_{-0,3}$	Закалка на глубину 1—2 мм до твердости HRC ⩾ 52. При применении стали 20 цементация с последующей закалкой. Глубина цементации 1—1,5 мм

сталь 45 с закалкой до твердости HRC 50—60 (глубина закаленного слоя 2—2,5 мм). На тепловозах ТЭП60 до № 0025 в подвешивании устанавливались втулки, изготовленные из стали 45; начиная с тепловоза № 0025 вместо стальных используют металлокерамические втулки.

В смонтированном подвешивании разность высот *а* и *б* двух концов рессоры не должна превышать 15 мм. Общая масса подвешивания одной тележки 1646,5 кг. Жесткость подвешивания тележки 578,8 кгс/мм, прогиб под статической нагрузкой 94,3 мм.

Конструкция независимого буксового подвешивания тепловозов ЧМЭ3 показана на рис. III-83. Буксовый рычаг соединен с рамой тележки сайлентблоком. Резино-металлические втулки запрессовывают с натягом 0,215—0,28 мм (на диаметр 120 мм), запрессовочное усилие 10 тс. Чтобы не допустить скручивания втулки при выкатке тележек, пружины стягивают болтом. Минимальная величина зазора между буксой и ограничителем вертикальных перемещений 20 мм.

Колесная пара тепловоза ТЭ3 показана на рис. III-84. До 1962 г. тепловозы ТЭ3 выпускались с колесными парами, у которых зубчатое колесо напрессовывалось на ступицу колесного центра. Ось (рис. III-85) колесной пары из осевой стали марки Ос. Л ГОСТ 4728—72 изготовлена согласно техническим требованиям ГОСТ 3281—59. Оси после термической обработки и обточки для повышения усталостной прочности подвергают накатке роликами (один проход при нагрузке на ролик 4000 кгс). Накатке подвергают предподступичные и подступичные части (под колесные центры и зубчатое колесо) оси, а также шейки под моторно-осевые и буксовые подшипники (последние за исключением участков длиной 50 мм со стороны торцов оси) и переходные галтели (за исключением галтели между шейкой и предподступичной частью на участке радиусом *R8* по длине 8 мм). После накатки припуск на шлифовку не более 0,5 мм. Готовую ось проверяют ультразвуковым дефектоскопом.

Допускается овальность и конусность шеек под буксовые подшипники не более 0,02 мм, а шеек под моторно-осевые подшипники — не более 0,03—0,04 мм. Овальность подступичных частей оси не должна превышать 0,05 мм, а конусность поверхности диаметром 235 не более 0,05 мм (если она направлена бо́льшим диаметром к середине оси).

Колесные центры отливают из стали 25ЛIII (особого качества) ГОСТ 977—65 с относительным удлинением не ниже 22%. Допускаются литейные уклоны не выше 3°, неоговоренные радиусы 5—10 мм.

Бандажи изготовляют из бандажной стали марки 60-III. Материал, технические условия, правила приемки, методы испытаний и маркировка бандажей по ГОСТ 398—71. Перед насадкой на колесный центр внутреннюю обработанную поверхность проверяют магнитным дефектоскопом. Овальность и конусность этой поверхности диаметром 900 мм допускается не более 0,2 мм, конусность должна совпадать с конусностью колесного центра. Разница в конусности обода колесного

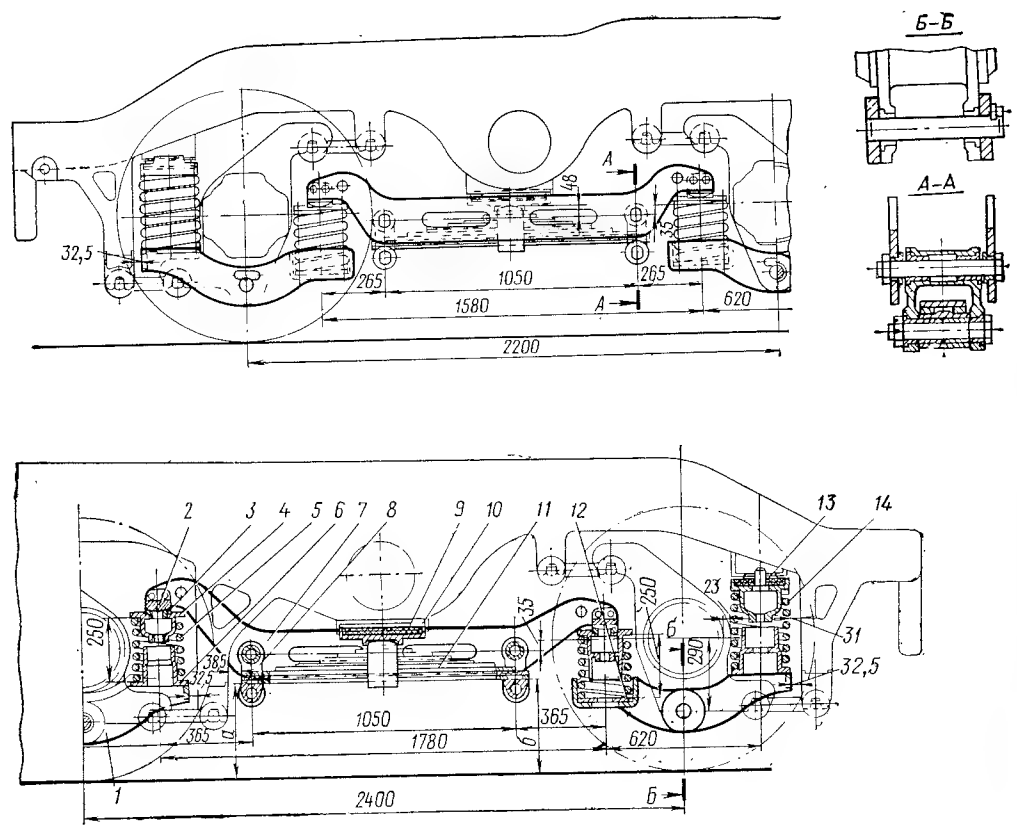


Рис. III-82. Рессорное подвешивание тепловоза ТЭП60:

1 — буксовый балансир; *2* — опора балансира; *3* — гнездо опоры балансира; *4, 6* — верхняя и нижняя опоры пружины; *5* — средняя пружина; *7* — балансир; *8* — подвеска балансира; *9* — резиновая прокладка; *10* — опора рессоры; *11* — рессора; *12* — опорная шайба; *13* — резино-металлическая шайба; *14* — концевая пружина

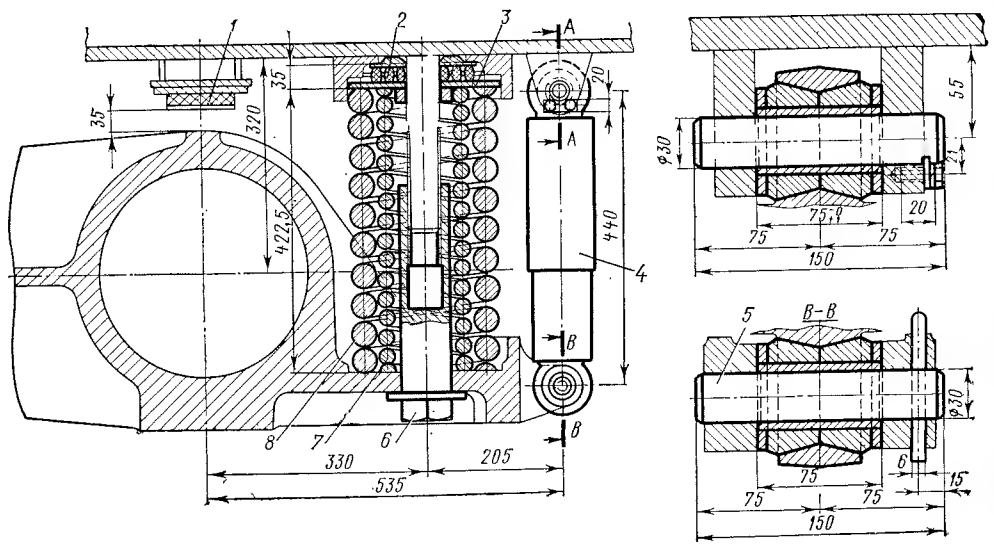


Рис. III-83. Буксовое подвешивание тепловозов ЧМЭ3:

1 — ограничитель; *2* — резино-металлическая прокладка; *3* — поддон, *4* — гидравлический демпфер; *5* — валик; *6* — болт стяжной; *7* — внутренняя пружина; *8* — наружная пружина

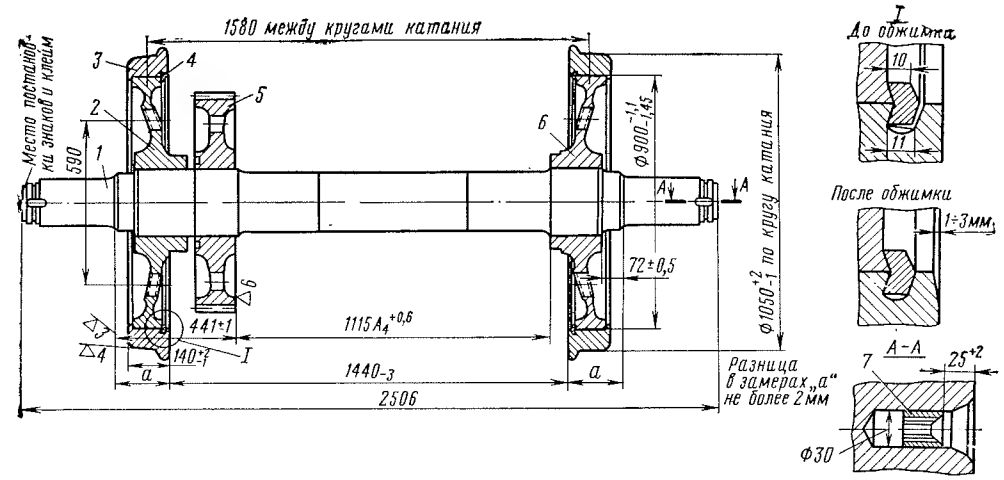


Рис. III-84. Колесная пара тепловоза ТЭ3:

1 — ось; *2* — колесный центр (левый) *3* — бандаж; *4* — кольцо; *5* — зубчатое колесо; *6* — колесный центр (правый); *7* — втулка

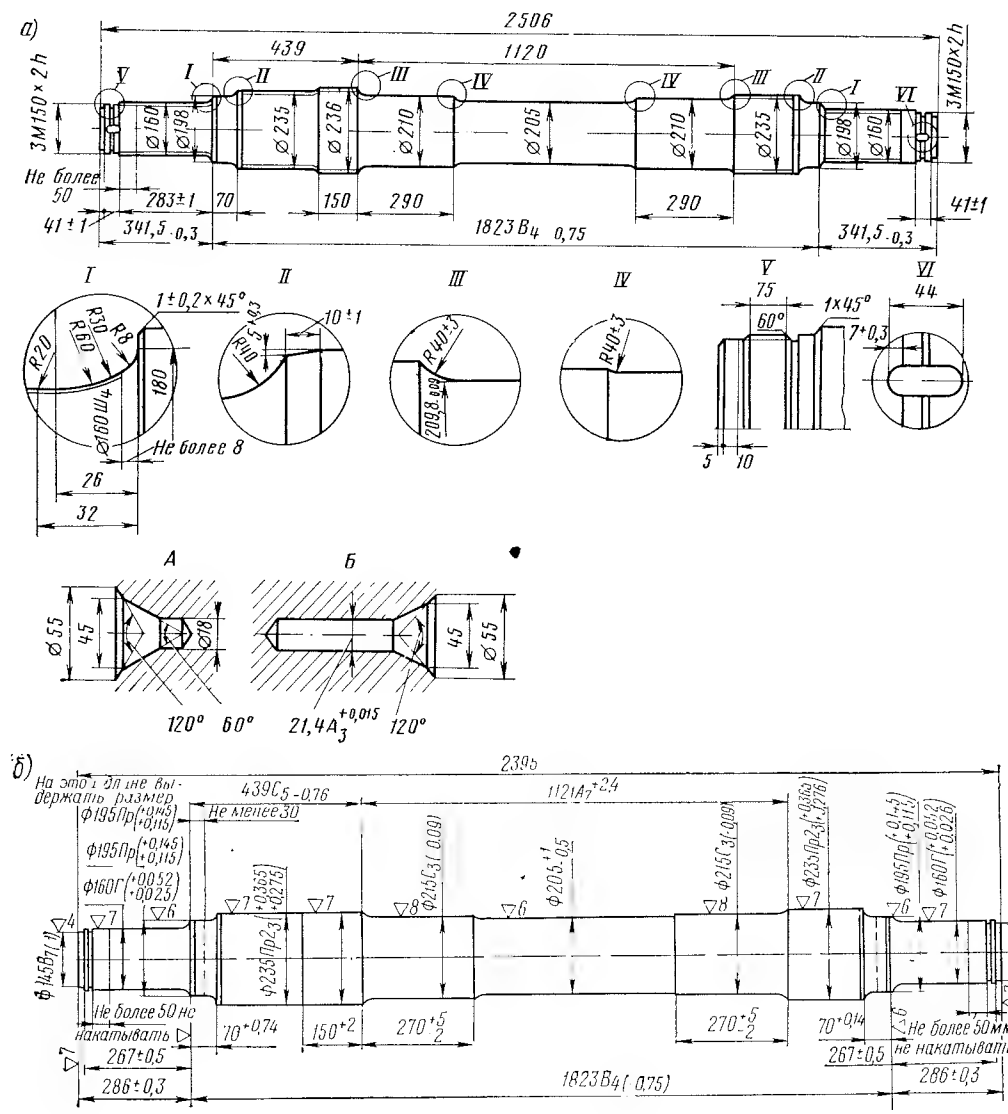


Рис. III-85. Оси колесных пар тепловозов ТЭ3 (*а*) и 2ТЭ10Л (*б*)

центра и бандажа не должна превышать 0,1 мм. Разность замеров ширины бандажа (140 мм) не более 3 мм. Бандаж насаживают на центр нагретым до температуры 250—320° С; натяг 1,1—1,45 мм. Бандажное кольцо заводят в выточку при температуре 200° С.

Овальность бандажа по кругу катания у грузовых тепловозов не должна превышать 0,5 мм. Разность диаметров бандажей по кругу катания у одной колесной пары грузовых тепловозов — не более 0,5 мм, а маневровых — не более 1 мм; разница в твердости бандажей — не более НВ 20.

Зубчатое колесо насаживают на ось в горячем состоянии (температура нагрева не выше 200° С, натяг 0,12—0,16 мм). Для предупреждения коррозии подступичную часть покрывают лаком марки ВДУ-3 или ГЭН-150. После остывания посадку опробуют усилием 70 + 20 тс со снятием диаграммы.

Оси запрессовывают в колесные центры с усилием: 110—150 тс при насаженных и 95—140 тс при ненасаженных бандажах (тепловозы ТЭ3, 2ТЭ10Л, ТЭМ2); 95—140 и 86—129 тс соответственно для тепловозов ТГ102. Натяг 0,18—0,30 мм для осей тепловозов ТЭ3, 2ТЭ10Л, ТЭМ2 и 0,16—0,22 мм для осей тепловозов ТГ102.

Колесная пара (вместе с полым валом) тепловоза ТЭП60 (рис. III-86) имеет ось (рис. III-87), в которой для уменьшения массы сделана внутренняя расточка диаметром 70 мм. Несоосность поверхностей этой расточки и шеек под буксовые подшипники не должна превышать 2 мм. Технология изготовления оси та же, что и осей грузовых тепловозов. Овальность и конусность предподступичной части не должна быть больше 0,03 мм. Радиальное биение подступичных частей и посадочных поверхностей под шариковые подшипники не более 0,05 мм; торцовое биение предподступичной части — не более 0,03 мм.

Обработанные колесные центры подвергают статической балансировке, допустимый небаланс не более 12,5 кгс·см.

Колесную пару формируют тепловым способом. Предварительно посадочную поверхность оси покрывают лаком ВДУ-3 или ГЭН-150 в 12—15 слоев. Общая толщина покрытия 0,015—0,020 мм на сторону. Центр подбирают по величине натяга 0,16—0,22 мм до покрытия лаком. Колесные центры нагревают в электрической печи до температуры 200—250° С. После посадки и остывания проверяют прочность посадки на гидравлическом прессе трехкратным распрессовочным усилием 150 ± ± 5 тс с выдержкой по 10 с и записью диаграммы давления. При монтаже колесной пары контролируют положение полого вала относительно колесных центров: наибольшая разница в размерах *а* (см. рис. III-86) не должна превышать 1 мм (в горизонтальной и вертикальной плоскостях).

Допустимые овальность и биение колесной пары те же, что и у колесных пар грузовых тепловозов, за исключением радиального биения бандажа по кругу катания, которое допускается не более 0,5 мм.

На тепловозах применяют буксы с роликовыми подшипниками (табл. III-20), работающими на жидкой (тепловозы ТЭ3

Таблица III-20

Основные данные буксовых подшипников

Показатели	Тепловоз серии				
	ТЭ3, ТГ102	ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭМ2	ТЭП60		ЧМЭ3
			до № 051	с № 051	
Число подшипников в буксе	2	2	2	2	1
Тип подшипников	Однорядный	Однорядный	Однорядный	Однорядный	Двухрядный
Обозначение подшипника:					
наружного	2Н52732Л	3Н32532Л1	3Н232532Л1*	3Н32532Л1*	SKF23234C/ /C3
внутреннего	2Н32732Л		3Н42532Л1* 3Н152532Л*2	3Н152532Л1*2	
Вид роликов	Цилиндрические	Цилиндрические	Цилиндрические	Цилиндрические	Сферические
Габаритные размеры подшипника, мм	160×320×110	160×290×80	160×290×80* 160×290×80/94*2	160×290×80* 160×290×80/94*2	170×310×110
Упорный подшипник	Нет	Нет*3	Нет	Шариковый	Нет
Обозначение	—	—	—	8Н232Л	—
Габаритные размеры, мм	—	—	—	160×290×48	—

* Подшипники крайних колесных пар тележки.
*2 Подшипники средней колесной пары тележки (наружный и внутренний).
*3 В буксах крайних колесных пар тележек с бесчелюстными буксами устанавливают упорные шариковые подшипники 8320 ГОСТ 6874—54 и радиально-упорные подшипники 46108 ГОСТ 831—62

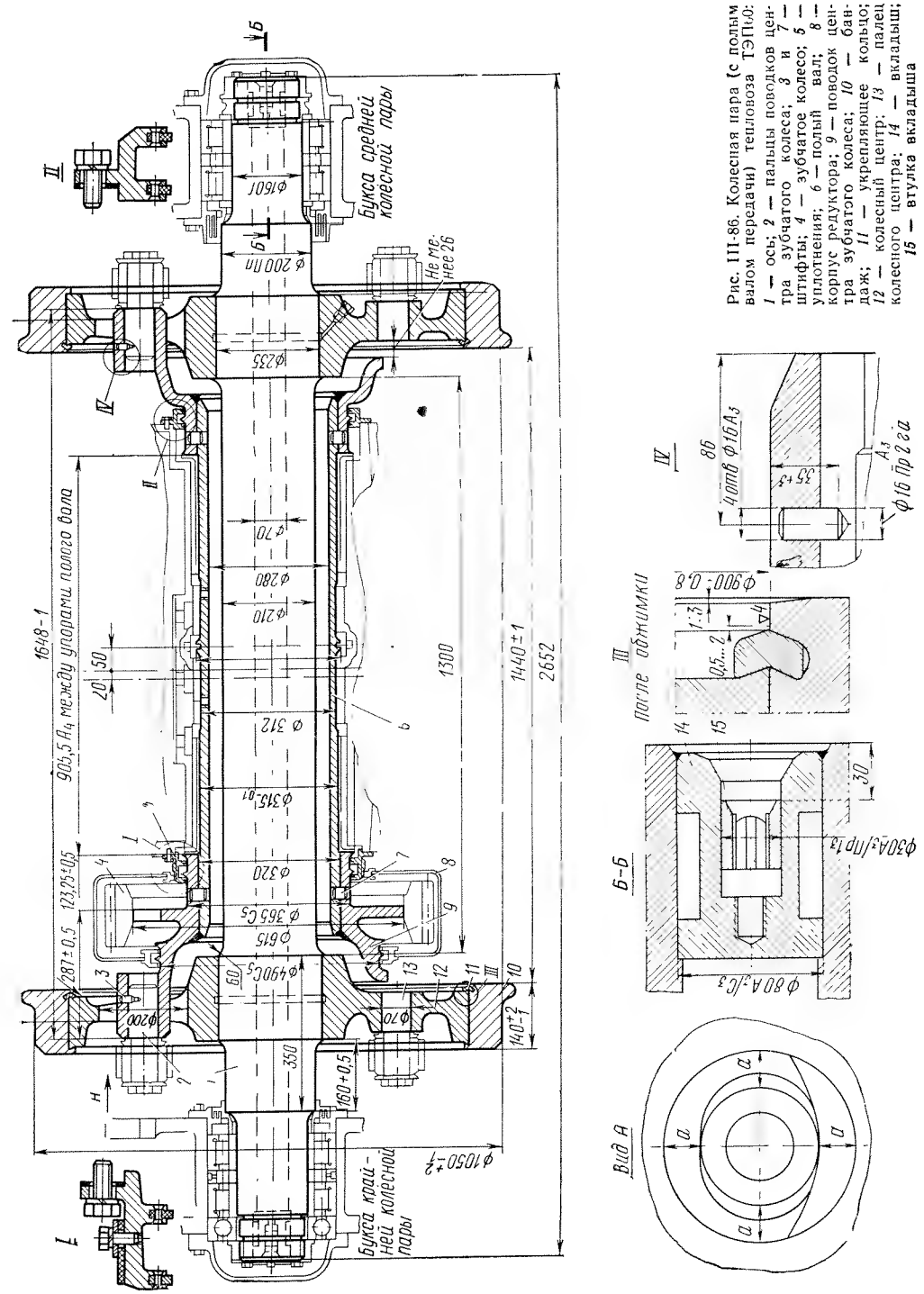


Рис. III-86. Колесная пара (с полым валом передачи) тепловоза ТЭП60:
1 — ось; *2* — пальцы поводков центра зубчатого колеса; *3* и *7* — штифты; *4* — зубчатое колесо; *5* — уплотнения; *6* — полый вал; *8* — корпус редуктора; *9* — поводок центра зубчатого колеса; *10* — бандаж; *11* — укрепляющее кольцо; *12* — колесный центр; *13* — палец колесного центра; *14* — вкладыш; *15* — втулка вкладыша

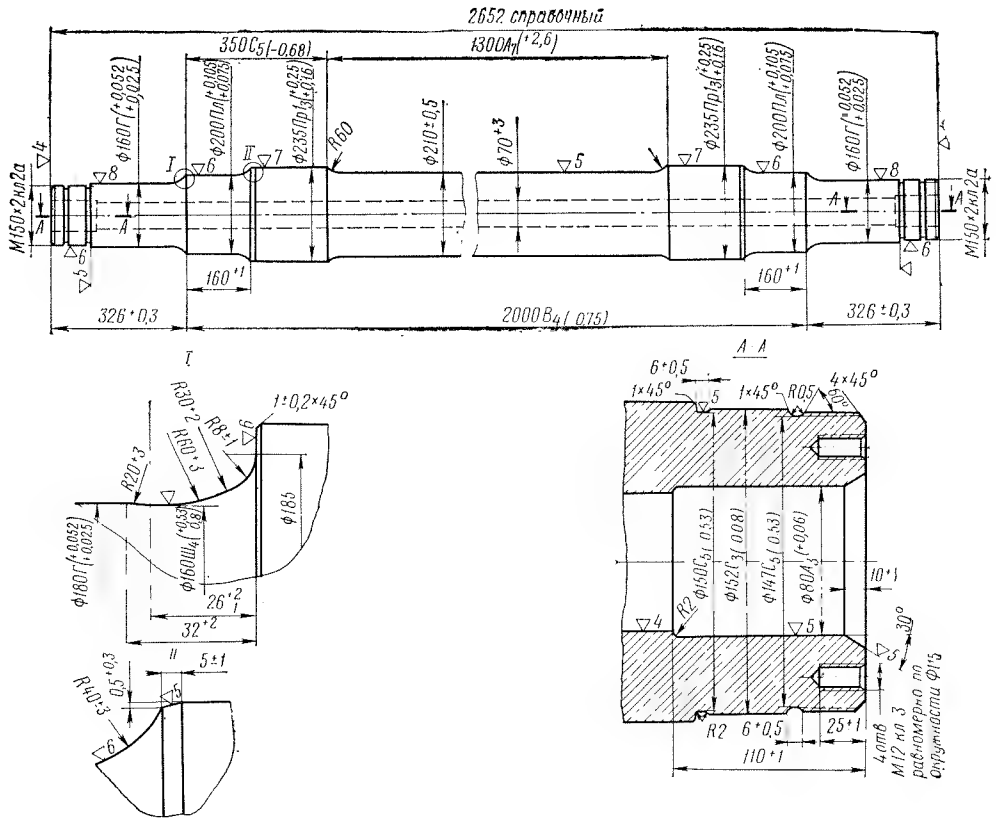


Рис. III-87. Ось колесной пары тепловоза ТЭП60

первых выпусков, ТГ102, 2ТЭ10Л до № 106) и консистентной смазках. Буксы крайних колесных пар челюстных тележек тепловозов (рис. III-88 и III-89) имеют упругие упоры, а буксы средних колесных пар — жесткие. Пружинные осевые упоры на крайних колесных парах тележек тепловозов ТЭ3 начали применять начиная с № 2811, а на тепловозах 2ТЭ10Л — с № 115. В буксах тепловозов с бесчелюстными тележками (рис. III-90) устанавливают резиновые упоры.

Корпус буксы отливают из стали 25ЛII. После расточки конусность и овальность внутренней поверхности под роликовые подшипники должны быть не более 0,03 мм, а биение торцовых поверхностей относительно внутренней поверхности — не более 0,05 мм. Непараллельность торцовых поверхностей передней крышки относительно привалочной поверхности в ее габаритах допускается не более 0,05 мм. У упругого осевого упора торцовое биение относительно установочного диаметра не должно превышать 0,05 мм, а внутренней опорной поверхности пружины — 0,3 мм.

У букс тепловозов 2ТЭ10Л и ТЭМ2 торец *Б* (см. рис. III-89) осевого упора относительно торца *В* корпуса до затяжки болтов должен выступать не менее чем на 2 мм. Неприлегание поверхностей арки и корпуса буксы в средней части допускается не более 0,2 мм на расстоянии 70 мм.

В буксе монтируют подшипники (горячая посадка), имеющие разность радиальных зазоров не более 0,03 мм. Внутренние кольца подшипников перед установкой на ось нагревают до температуры 100—120° С в индустриальном масле марки 12 или 20 (ГОСТ 1707—51) или электропечи (для тепловозов ТЭМ2). Натяг соединения должен быть 0,035—0,065 мм. Для уплотнения между корпусом и крышками прокладывают шелковую нить (два ряда). Допускается установка прокладок из фибры марки КГ-ФТУ21-40 или паронита, толщина прокладок не более 0,5 мм. Натяг пружины уплотнения выбирают таким, чтобы пружина, надетая на кольцо *1* (см. рис. III-88), охватывала его без зазоров между витками на поверхности, прилегающей к кольцу.

В качестве жидкой смазки применяют автотракторное масло АК-10 ГОСТ 1862—63. Объем заливаемого масла 3,3 л. Марка консистентной смазки 1-Л3 (ГОСТ 12811—67) или 1—13 (ГОСТ 1631—61); в буксу закладывают 1,2—1,3 кг смазки, в лабиринтное уплотнение — 0,2 кг. Осевые упоры у тепловозов 2ТЭ10Л с № 115 смазывают маслом $АК_п$-10, а у тепловозов ТЭМ2 с № 17 — дизельным маслом Д-11 ГОСТ 5304—54 или ДСП-11 ГОСТ 8581—63,

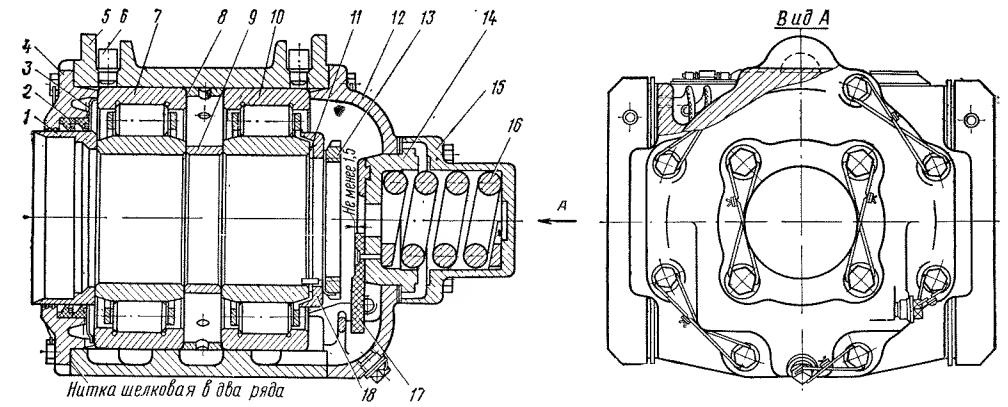


Рис. III-88. Букса крайней колесной пары тележки тепловоза ТЭ3 (с жидкой смазкой подшипников):
1 — кольцо; *2* — севанитовое уплотнение; *3* — распорное кольцо; *4* — задняя крышка; *5* — корпус; *6* — опора балансира; *7* — роликовый подшипник 2Н32732Л; *8* и *9* — дистанционные кольца; *10* — роликовый подшипник 2Н52732Л; *11* — шайба; *12* — передняя крышка; *13* — гайка; *14* — осевой упор; *15* — корпус осевого упора; *16* — пружина осевого упора; *17* — фитиль упора; *18* — упорное кольцо

заливаемым в пространство между упором и перегородкой (80—90 г смазки). Консистентная смазка, попавшая за перегородку, должна быть удалена.

Свободные разбеги колесных пар до включения осевых упоров: для крайних колесных пар 3 + 1 мм (в эксплуатации до 6 мм), для средних 28 + 3 мм (в эксплуатации до 32 мм).

Упругие осевые упоры — пружинные или резиновые. Материал пружин (табл. III-21) сталь 60С2. Неперпендикулярность образующей пружины относительно ее торцов не допускается более 1,5 мм.

На тепловозах, не имеющих букс с упругими упорами, разбеги крайних колесных пар составляют 3 мм, средних — 14 мм.

Корпуса букс средних и крайних колесных пар тепловозов ТЭП60 (рис. III-91 и III-92) из стали 25ЛII, передняя и задняя крышки и лабиринтное кольцо — из стали 25ЛI. Задние крышки и лабиринтные кольца букс средних колесных пар допускают суммарный поперечный разбег колесных пар 28 мм. Для восприятия осевых сил на тепловозах ТЭП60 с № 0051 в буксах крайних колесных пар служат радиальные шариковые подшипники. В буксах средних осей радиальные нагрузки воспринимаются двумя подшипниками с короткими роликами, внутренними кольцами без бортов и плоскими упорными кольцами. На одну шейку устанавливают роликовые подшипники, у которых разница в радиальных зазорах не превышает 0,03 мм. Радиальные зазоры, находящиеся

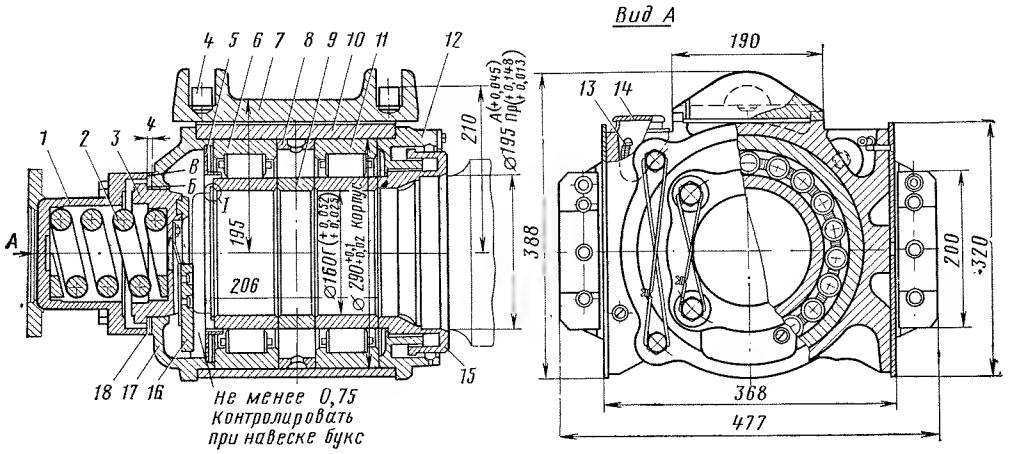


Рис. III-89. Букса крайней колесной пары тепловоза 2ТЭ10Л с челюстными тележками (с консистентной смазкой подшипников):
1 — корпус осевого упора; *2* — пружина осевого упора; *3* — осевой упор; *4* — опора балансира; *5* — кольцевая перегородка; *6* и *11* — роликовые подшипники 3Н32532Л; *7* — арка; *8* и *9* — дистанционные кольца; *10* — корпус; *12* — задняя крышка; *13* — фитиль; *14* — крышка масленки; *15* — лабиринтное кольцо; *16* — фитиль упора; *17* — передняя крышка; *18* — прокладка

вне диапазона 0,130—0,195 мм, недопустимы. Суммарный осевой зазор двух роликовых подшипников крайних осей 2,5—2,7 мм. Внутренние кольца подшипников насаживают на шейку оси с натягом 0,035—0,055 мм, натяг лабиринтного кольца 0,03—0,105 мм. Допустимая разница осевых зазоров у двух шариковых подшипников одной колесной пары не более 0,1 мм.

С рамой тележки поводковые буксы соединяются двумя поводками (рис. III-90). Корпус поводка изготовляют из стали 40 с последующей механической и термической обработкой.

Для изготовления стальных шайб, торцовых амортизаторов, упорных разъемных колец и дистанционных колец применяют сталь 40. В торцовых шайбах используют резину 7842 ТУ 1254—55. Высота торцовой шайбы в свободном состоянии 28,5 ± ± 0,3 мм. При установке на валик шайба сжимается на 3 мм. Затяжку болтов, крепящих валики поводков, производят усилием 25—30 кгс на плече 600—700 мм.

Тяговые передачи тепловозов ТЭ3, ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭ109, 2ТЭ116, ТЭМ1, ТЭМ2 ЧМЭ3 — односторонние прямозубые. Шестерни изготовляют ковкой с последующей механической (степень точности 7—8—8 III по ГОСТ 1643—72) и термической обработкой. Основные параметры тяговых зубчатых передач, материал и характеристика термообработки указаны в табл. III-22.

При шлифовке зубьям шестерни придают односторонний скос для обеспечения луч-

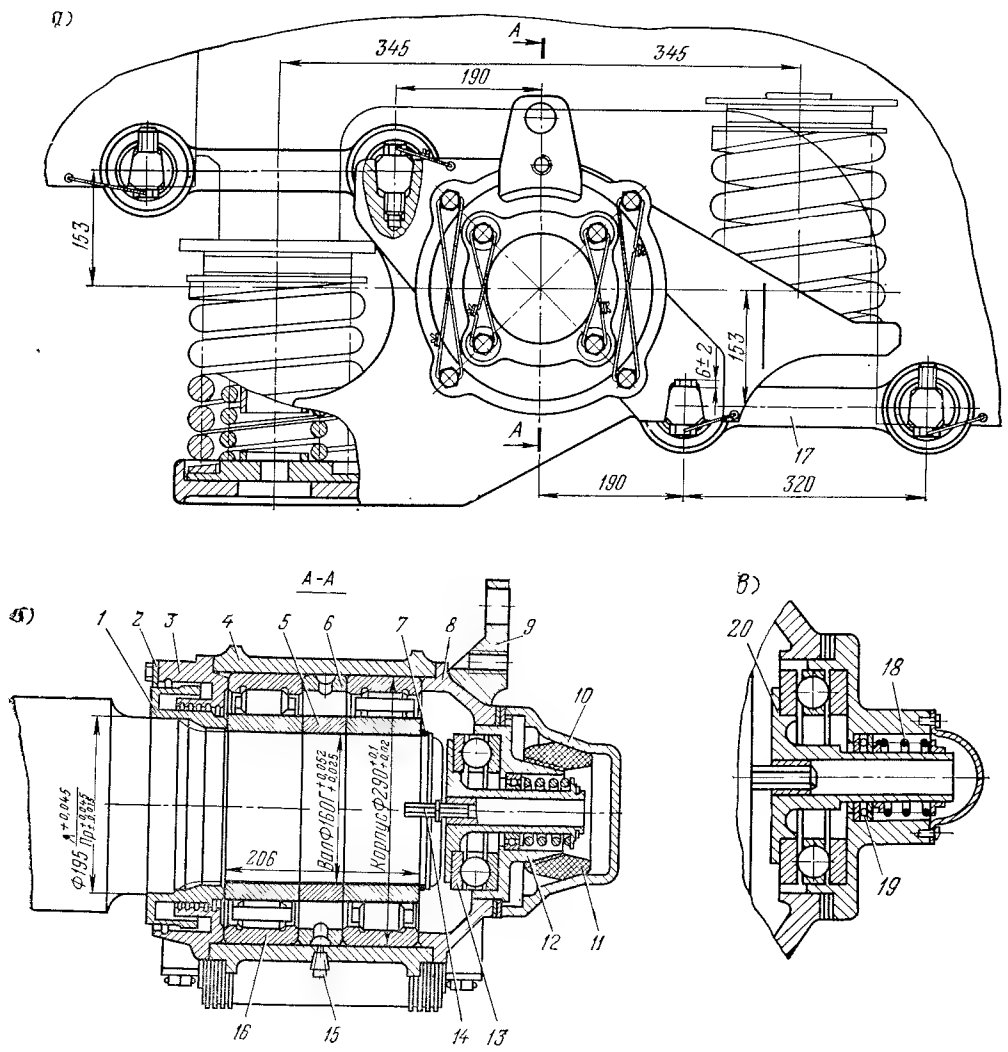


Рис. III-90. Буксовый узел (*а*) и буксы крайней (*б*) и средней (*в*) колесных пар тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ116 с бесчелюстными тележками:

1 — кольцо лабиринтное; *2* — планка; *3* — задняя крышка; *4* — корпус буксы; *5* и *6* — дистанционные кольца; *7* — стопорное кольцо; *8* — передняя крышка; *9* — кронштейн фрикционного гасителя колебаний; *10* — крышка; *11* — резиновый упор; *12* — упор; *13* — упорный подшипник; *14* — валик синхронизации; *15* — пробка К 1/4″; *16* — роликовый подшипник 3Н32532Л1; *17* — поводок; *18* — вспомогательная пружина; *19* — подшипник 46108; *20* — упор

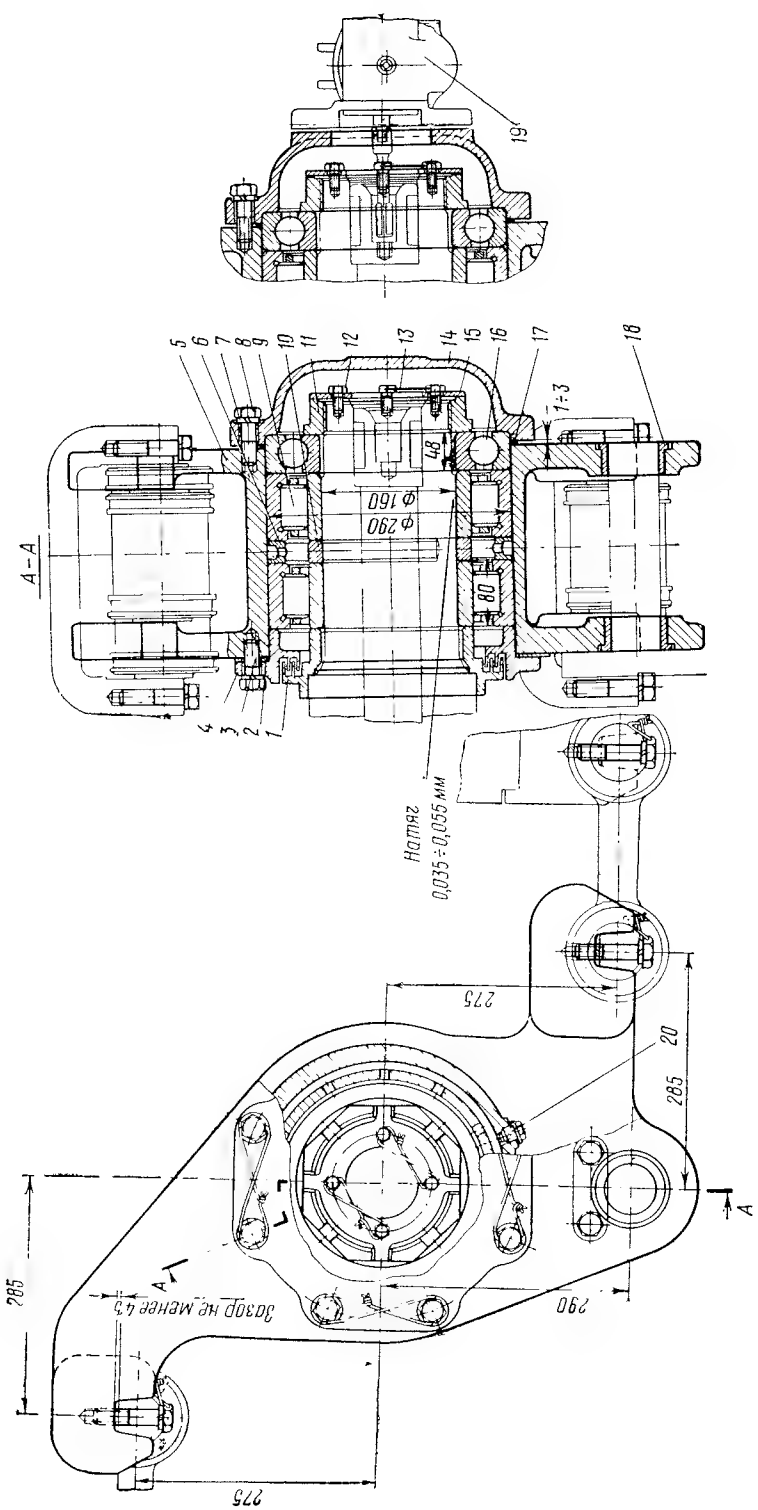


Рис. III-91. Букса крайней колесной пары тележки тепловоза ТЭП60:

1 — лабиринтное кольцо; *2* — кольцо проставочное разъемное; *3*, *8*, *12* — болты; *4* — задняя крышка; *5* — корпус; *6* и *10* — дистанционные кольца; *7* — пружинная шайба; *9* — роликовый подшипник; *11* — гайка; *13* — вязальная проволока; *14* — передняя крышка; *15* — стопорная шайба; *16* — шарниковый подшипник 811232; *17* — шнур крученый; *18* — металлокерамическая втулка; *19* — привод скоростемера; *20* — пробка

Таблица III-21

Основные данные пружин осевых упоров и фрикционного гасителя колебаний

Показатели	Пружины		
	осевого упора	вспомогательная в буксах с резиновым осевым упором	фрикционного гасителя колебаний
Средний диаметр пружины, мм	85±1,5	52±1	36
Диаметр прутка, мм	30	10	10
Число витков:			
полное	4,5	4,5	7,6
рабочих	3,0	3,0	5,5
Высота, мм:			
в свободном состоянии	150	55±1	89
при предварительном сжатии	$146^{+4,5}_{-1,5}$	—	—
при рабочей нагрузке	132*	46	74±1
Сила предварительного натяга, кгс	1500	—	—
Рабочая нагрузка, кгс	5600*	200	531
Жесткость, кгс/мм	—	22,2	35,4
Масса, кг	6,1	0,365	—
Твердость после термообработки	HRC 40—47	HRC 40—47	HRC 40—47

* При максимальном перемещении 14 мм.

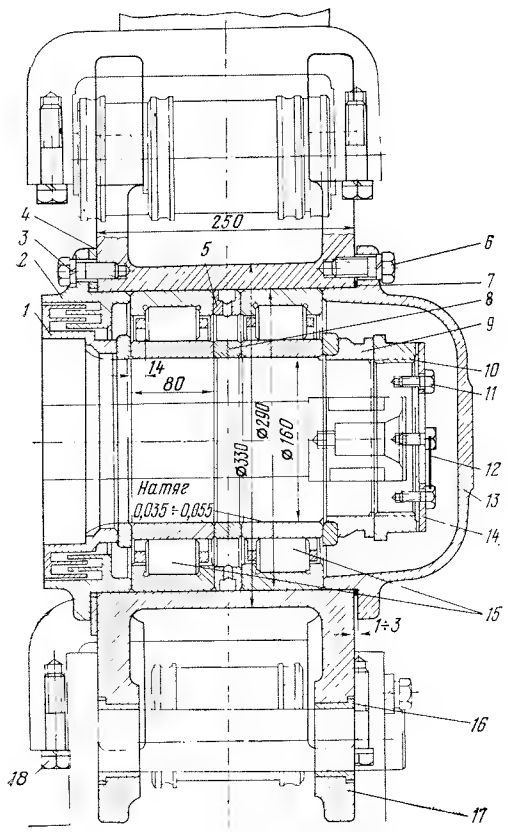


Рис. III-92. Букса средней колесной пары тележки тепловоза ТЭП60:
1 — лабиринтное кольцо; *2* — задняя крышка; *3* — пружинная шайба; *4* — проставочное кольцо; *5* и *8* — дистанционные кольца; *6*, *11* и *18* — болты; *7* — шнур крученый; *9* — проставка; *10* — гайка; *12* — вязальная проволока; *13* — передняя крышка; *14* — стопорная шайба; *15* — роликовые подшипники; *16* — металлокерамическая втулка; *17* — корпус

шего зацепления. Отклонение от параллельности профиля зуба для правой скошенной стороны зуба, измеренное на торцовой поверхности со стороны большого диаметра отверстия, должно составлять у шестерен тепловоза ТЭ3 0,2—0,4 мм (угол скоса $4'54''^{+57''}$). Для левой (нескошенной) стороны указанное отклонение не более 0,04 мм.

Зубчатые колеса изготовляют горячей штамповкой. Как и шестерни, зубчатые колеса проверяют магнитным дефектоскопом.

При проверке контакта зубьев по краске их прилегание, характеризуемое размером контактного пятна, по высоте зуба должно быть более 50%, а по длине — не более 70%.

На тепловозах ТЭП60 применена передача с полым валом и шарнирно-поводковыми муфтами. Полый вал (см. рис. III-86) изготовляют из труб 325 × 25 мм или 325 × 28 мм; материал — сталь 25, допускается применение стали 20.

Шейки вала под моторно-осевые подшипники накатывают двумя роликами за восемь проходов при усилии 1000 кгс. Глубина уплотнения металла 0,5 мм. Припуск на обработку после накатки 1 мм. Зазор по диаметру между подшипником и шейкой вала — не более 0,6—0,8 мм (браковочный в эксплуатации 1,6 мм).

Шарнирно-поводковая муфта (рис. III-93) состоит из плавающей рамки и четырех поводков.

Плавающую рамку отливают из стали марки 25ЛII ГОСТ 977—65 (допускается сталь 20ЛII).

Поводки шарнирно-поводковой муфты изготовляют ковкой или штамповкой из стали марки 40. Перед механической обработкой поводки подвергаются нормализации, твердость металла НВ 207—180.

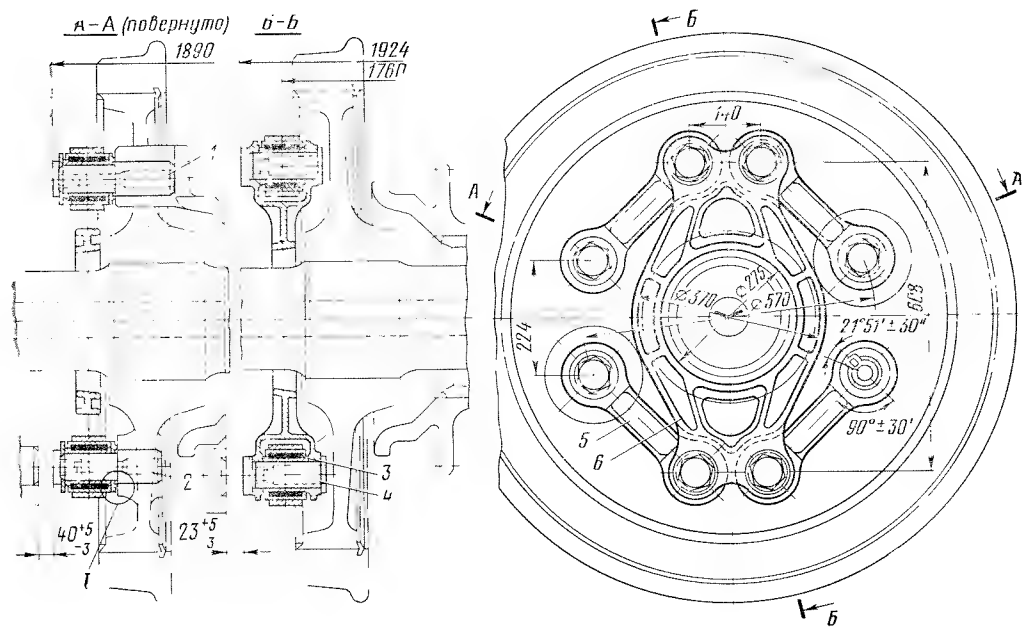


Рис. III-93. Шарнирно-поводковая муфта передаточного механизма тепловоза ТЭП60:
1 — палец поводка центра зубчатого колеса; *2* — палец центра движущего колеса; *3* — резинометаллическая втулка; *4* — валик; *5* — поводок; *6* — плавающая рамка

После обработки производится проверка дефектоскопом.

Пальцы и валики изготовляют из стали марки 40 поковкой с последующей термообработкой. После предварительной обработки пальцы подвергают закалке с последующим высоким отпуском (твердость металла НВ 192—228). После окончательной обработки пальцы и валики проверяют дефектоскопом и фосфатируют.

Для изготовления резино-металлических втулок шарнирно-поводковой муфты используют резину 7842 (ранее — 2959 или 4985 по ТУ 233—54Р), сталь 45 для внутренней и сталь 10 для наружной втулок.

При изготовлении втулок перед запрессовкой все поверхности трения резиновых и стальных втулок смазывают смесью, состоящей из 30% касторового масла (ГОСТ 6757—73) и 70% этилового спирта (ГОСТ 131—67). После формирования резинометаллическую втулку выдерживают в течение трех недель в темноте при температуре 15—30° С.

Пальцы в поводки полого вала и колесный центр (с надетым бандажом) за-

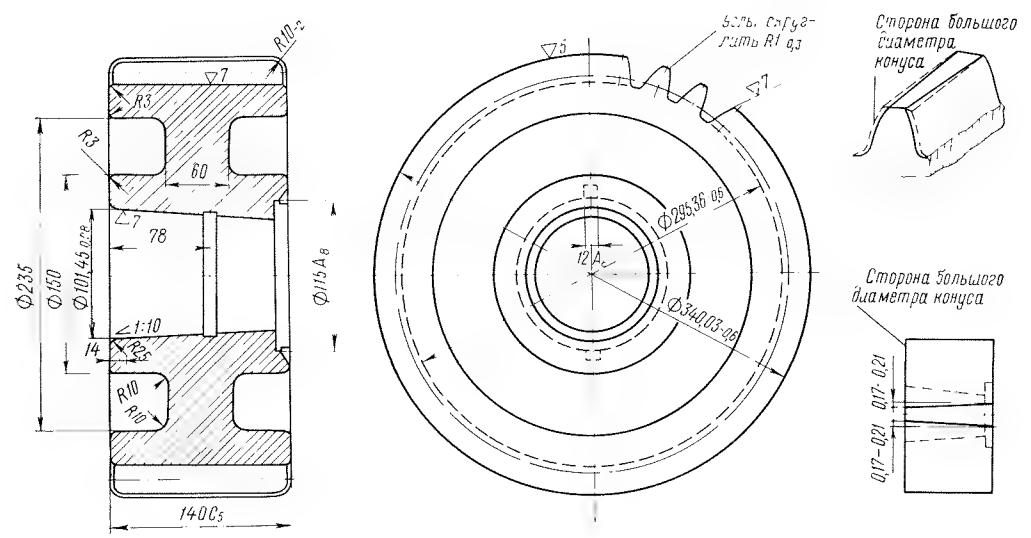


Рис. III-94. Шестерня тяговой передачи тепловоза ТЭП60

Таблица III-22

Основные технические данные тяговых зубчатых передач

Показатель	Тепловоз серии ТЭ3, 2ТЭ116		ТЭП10		2ТЭ10Л, ТЭМ2		ТЭП60		ЧМЭ3	
	Шестерня	Зубчатое колесо	Шестерня	Зубчатое колесо	Шестерня	Зубчатое колесо	Шестерня	Зубчатое колесо	Шестерня	Зубчатое колесо
Передаточное число	4,412		3,15		4,53		2,32		5,07	
Число зубьев	17	75	20	63	15	68	31	72	15	76
Нормальный модуль, мм	10	10	11	11	11	11	10	10	—	—
Диаметр окружностей, мм:										
делительной	170,0	750,0	220,0	693,0	165,0	748,0	310,0	720,0	150,0	760,0
головок	198,88	777,50	252,52	726,66	202,33	776,96	340,03	740,0	172,4	770,0
впадин	155,1	733,74	205,39	679,53	155,09	729,96	295,36	692,0	135,4	733,0
Шаг по хорде делительной окружности, мм	31,42	31,42	34,54	34,54	34,54	34,54	31,42	31,42	—	—
Ширина зуба, мм	140	140	140	140	140	140	140	140	155	150
Высота зуба, мм	21,89	21,89	23,57	23,57	23,57	23,57	22,34	22,34	18,5	18,5
Материал	20Х2Н4А	45ХН	20ХГНР (20Х2Н4А)	45ХН	20ХН2Н3А (12Х2Н4А)	45ХН	12Х2Н4А	45ХН	16220.3*	14341.7*
Масса, кг	17,5	255÷270	36,5	186	21,5	25	63	117	14	218,2
Способ упрочнения	Цементация и закалка	Закалка	Цементация и закалка	Закалка	Цементация и закалка	Закалка	Цементация и закалка	Закалка	—	—
Глубина упрочненного слоя, мм	1,3—1,6	2^{+3}	1,3—1,6	2^{+2}	1,3—1,6	2^{+3}	1,3—1,6	2^{+3}	—	—
Твердость рабочей поверхности	HRC ⩾ 59	HRC 50—58	HRC ⩾ 59	HRC 50—58	HRC ⩾ 59	HRC 50—58	HRC ⩾ 56	HRC 46—52	—	—
Твердость ядра зуба	HRC 35—47	HB 255—311	HRC 30—45	HB 255—311	HRC 30—45	HB 255—311	HRC 30—40	—	—	—

* По стандартам ЧССР.

прессовывают с натягом 0,09—0,12 мм. Пальцы должны быть охлажденными, а поводки и колесные центры могут иметь местный подогрев.

Посадочные поверхности пальцев покрывают лаком ВДУ-3 или ГЭН-150, подвергают полимеризации в течение 30 мин при температуре 160° С. Положение шпоночных канавок при запрессовке пальцев и резино-металлических втулок должно соответствовать чертежу. Его контролируют специальными приспособлениями.

После остывания колесных центров и поводков полость вала проверяют на прочность запрессовки каждого пальца путем трехкратного нагружения силой 30 тс (на гидравлическом прессе) с выдержкой по 10 с и снятием диаграммы испытания. Шарнирно-поводковую муфту монтируют в собранном виде до сборки буксовых роликовых подшипников. В собранной тележке зазор между буксовым балансиром и головками болтов пальцев и втулок шарнирно-поводковой муфты не должен быть менее 13 мм.

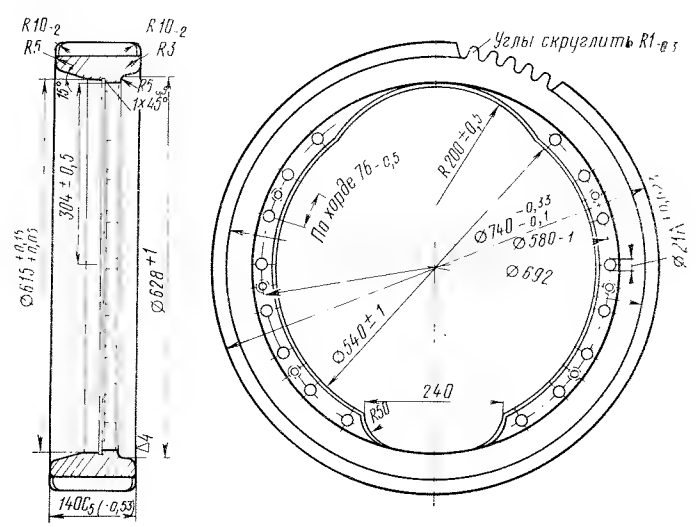


Рис. III-95. Венец зубчатого колеса тяговой передачи тепловоза ТЭП60

Шестерня и венец зубчатого колеса передачи тепловоза ТЭП60 показаны на рис. III-94 и III-95.

III-6. КУЗОВА ТЕПЛОВОЗОВ

Современные отечественные магистральные тепловозы имеют кузова вагонного, а маневровые — капотного типа. По отношению к внешним силам кузова делят на несущие, у которых нагрузки воспринимаются главной рамой, обрешеткой и обшивкой кузова, и ненесущие (с несущей рамой), у которых нагрузка воспринимается только главной рамой. Кузова с несущей рамой имеют магистральные тепловозы ТЭ2, ТЭ3, 2ТЭ10Л, 2ТЭ116, М62 и маневровые тепловозы с капотным кузовом. У тепловозов ТЭП60, ТГ102Р, ТГ106, ТЭ109, ТЭ40 цельнонесущие кузова.

Основным элементом несущей рамы кузовов тепловозов ТЭ3 (рис. III-96), 2ТЭ10Л, 2ТЭ116, ТЭМ1, ТЭМ2 (рис. III-97) являются две продольные хребтовые балки (швеллеры № 45а ГОСТ 8239—72, верхняя и нижние полки усилены полосами шириной 340 мм и толщиной 20 мм у рамы ТЭ3 и 18 мм у тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ116, верхняя полоса шириной 450 мм, а нижняя 340 мм и толщиной 22 или 20 мм у ТЭМ2), связанные на концах стяжными ящиками, а в средней части — поперечными перегородками толщиной 10—12 мм. Наружный контур рамы, к которому крепится кузов, выполнен из швеллера № 16 ГОСТ 8240—72, который соединен с хребтовыми балками кронштейнами. Отличие в конструкциях несущих рам тепловозов вызваны особенностями участков, предназначенных для установки оборудования, механизмов и агрегатов, а также лобовых брусьев.

Продольные балки рамы тепловоза ЧМЭ3 представляют собой сварные двутавры. Они соединены по концам стяжными ящиками, а в средней части — сварными шкворневыми балками коробчатого сечения и промежуточными балками.

Кузова магистральных тепловозов с несущей рамой состоят из нескольких основных частей (рис. III-98): кабины, кузова над дизелем, камеры теплообменника, проставки (у 2ТЭ116 — кузова над высоковольтной камерой). Отдельные части кузова соединены болтами. В крыше сделаны люки над дизель-генератором, компрессором, двухмашинным агрегатом и другим оборудованием, закрываемые крышками.

Кузова маневровых тепловозов ТЭМ2 (рис. III-99) капотного типа состоят из пяти частей: кабины машиниста, камеры теплообменника и капотов над дизель-ге-

нератором, высоковольтной камерой и аккумуляторной батареей. У ТЭМ1 капоты над дизелем и высоковольтной камерой съемные, у ТЭМ2 — съемный капот только над дизелем. Остальные части кузова приварены к раме. Съемные части кузова крепятся к главной раме болтами и с другими частями кузова соединяются болтами (ТЭМ1) или клиновым креплением (ТЭМ2).

У тепловозов ЧМЭ3 кузов состоит из трех частей (отделение для дизель-генератора, передняя и задняя части) и кабины машиниста.

Цельнонесущие кузова выполняют безраскосными (ТЭ10, ТЭ109) и с боковыми стенками в виде раскосной фермы (ТЭП60, ТГ106, ТГ102). Каркас безраскосного кузова тепловоза ТЭ10 выполнен из продольных и поперечных элементов, обшитых стальными листами толщиной 3 мм и приваренных к раме. Рама состоит из двух продольных балок коробчатого сечения, соединенных поперечными балками, и имеет дополнительные продольные и поперечные балки. Соединение стенок с рамой усилено косынками.

Несущий кузов с раскосными фермами (рис. III-100) имеет раму (рис. III-101), состоящую из двух центральных продольных труб диаметром 194 мм с толщиной стенок 6 мм, боковых продольных балок коробчатого сечения 250 × 85 мм с толщиной стенок 6 мм, четырех шкворневых балок, стяжных ящиков и поперечных связей. Шкворневые балки сварные из штампованных элементов толщиной 10 мм. Материал рамы — сталь марки 20.

Каркас кузова выполнен из гнутых профилей с толщиной стенок от 2 до 6 мм (материал сталь 20), за исключением верхнего пояса, который изготовлен из швеллера № 16. Обшивка стен между передней кабиной и теплообменником — алюминиевые листы толщиной 3 мм, крепление заклепками толщиной 6 мм. Криволинейная часть крыши обшита стальными листа-

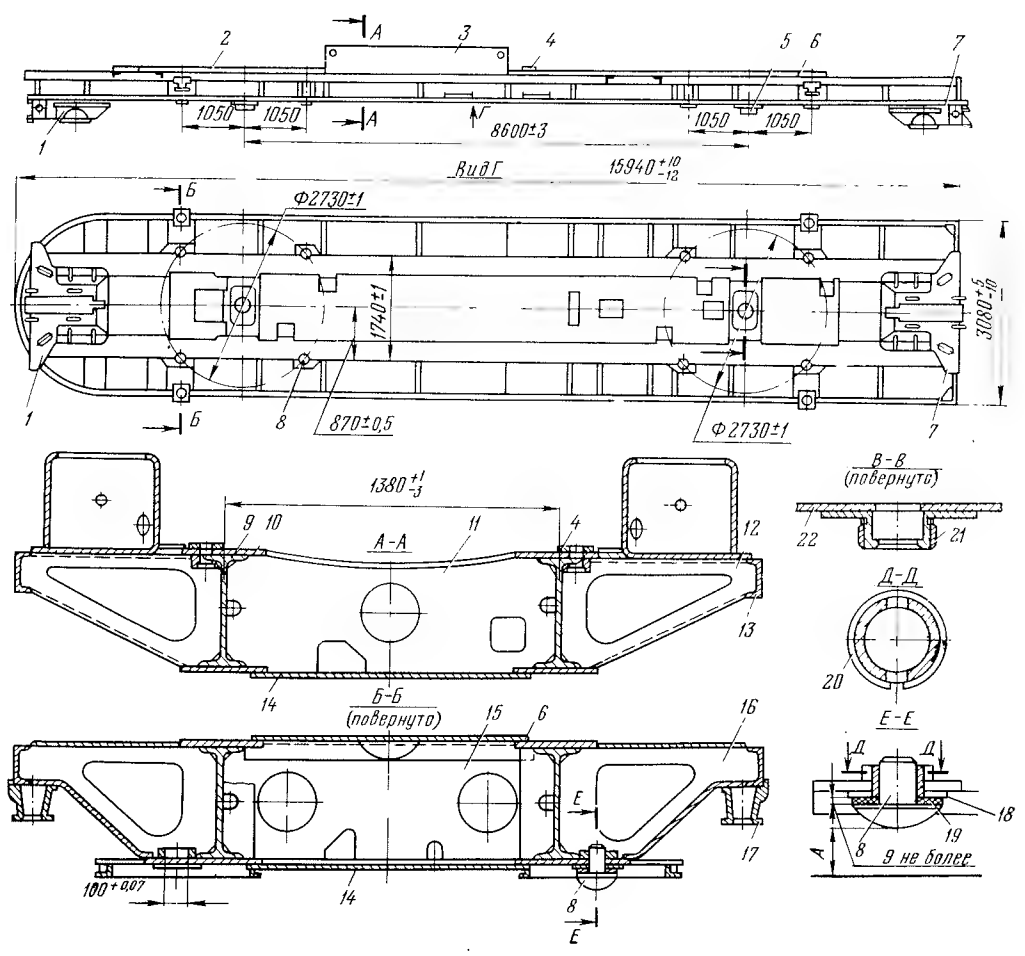


Рис. III-96. Рама секции кузова тепловоза ТЭ3:

1 — передний стяжной ящик; *2* и *6* — верхний лист настила; *3* — отсеки для аккумуляторной батареи; *4* — платики для установки дизель-генератора; *5* — шкворень; *7* — задний стяжной ящик; *8* — шаровая опора; *9* — хребтовые балки; *10* — усиливающие пояса; *11* и *15* — поперечные крепления; *12* и *16* — кронштейны; *13* — швеллер наружного контура; *14* — нижний лист; *17* — кронштейны под домкраты; *18* — втулки шаровых опор; *19* — регулировочные прокладки; *20* — пружинное кольцо; *21* — кольцо; *22* — шкворневой лист

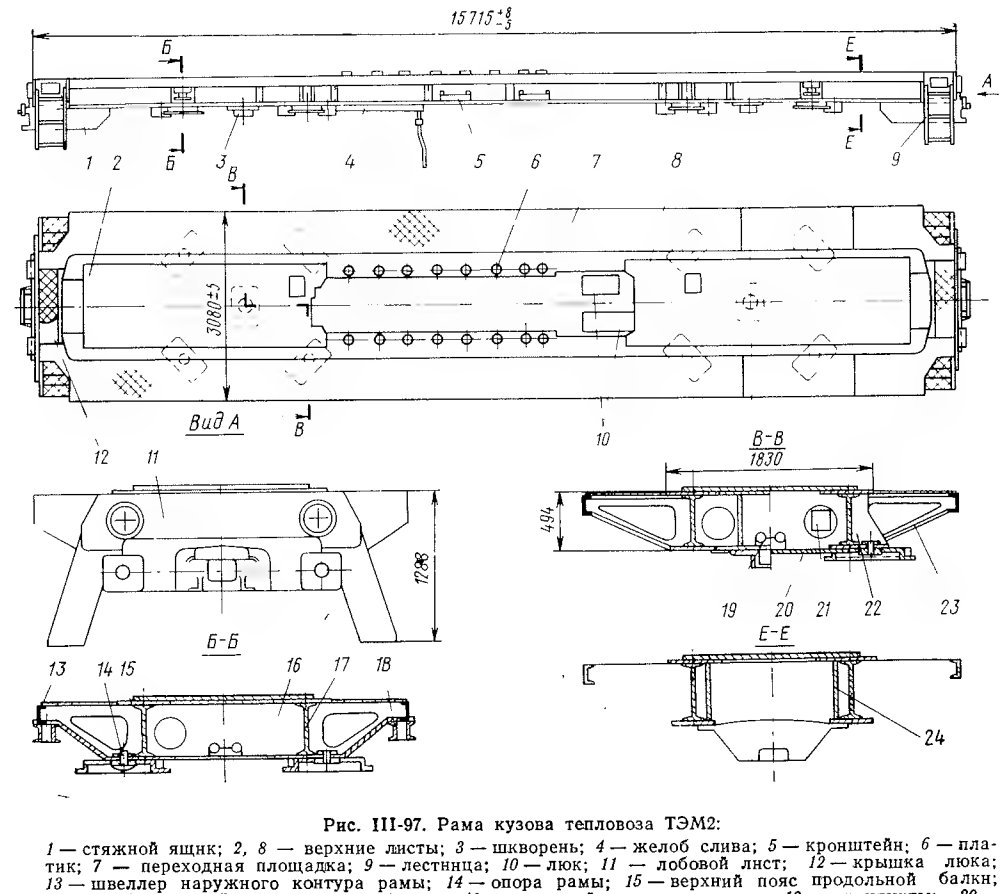


Рис. III-97. Рама кузова тепловоза ТЭМ2:

1 — стяжной ящик; *2, 8* — верхние листы; *3* — шкворень; *4* — желоб слива; *5* — кронштейн; *6* — платик; *7* — переходная площадка; *9* — лестница; *10* — люк; *11* — лобовой лист; *12* — крышка люка; *13* — швеллер наружного контура рамы; *14* — опора рамы; *15* — верхний пояс продольной балки; *16* — диафрагма; *17* — продольная балка; *18* — кронштейн под домкрат; *19* — кондуиты; *20* — нижний лист; *21* — воздуховоды; *22* — ребро; *23* — кронштейн; *24* — усиливающие листы

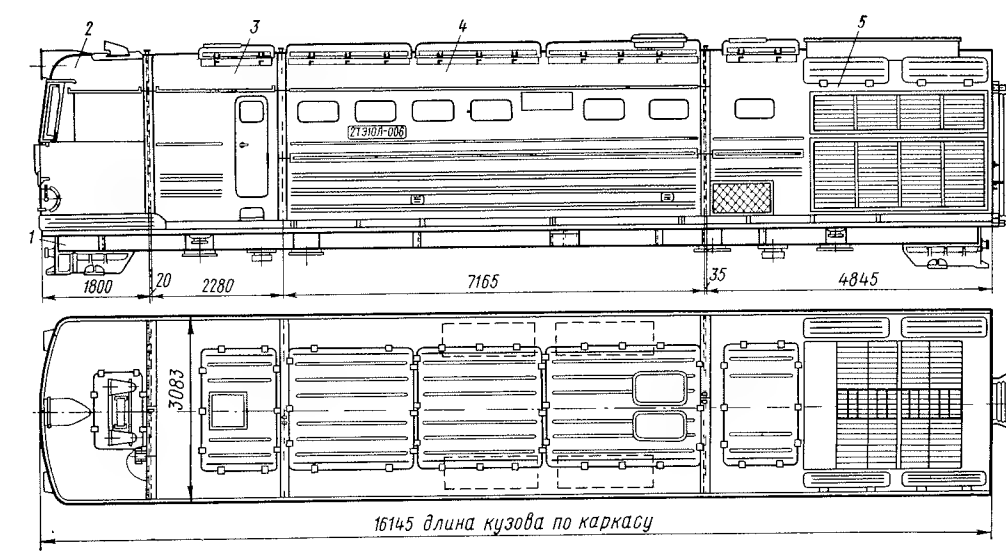


Рис. III-98. Кузов секции тепловоза 2ТЭ10Л:

1 — главная рама; *2* — кабина машиниста; *3* — проставка; *4* — кузов над двигателем; *5* — камера теплообменника

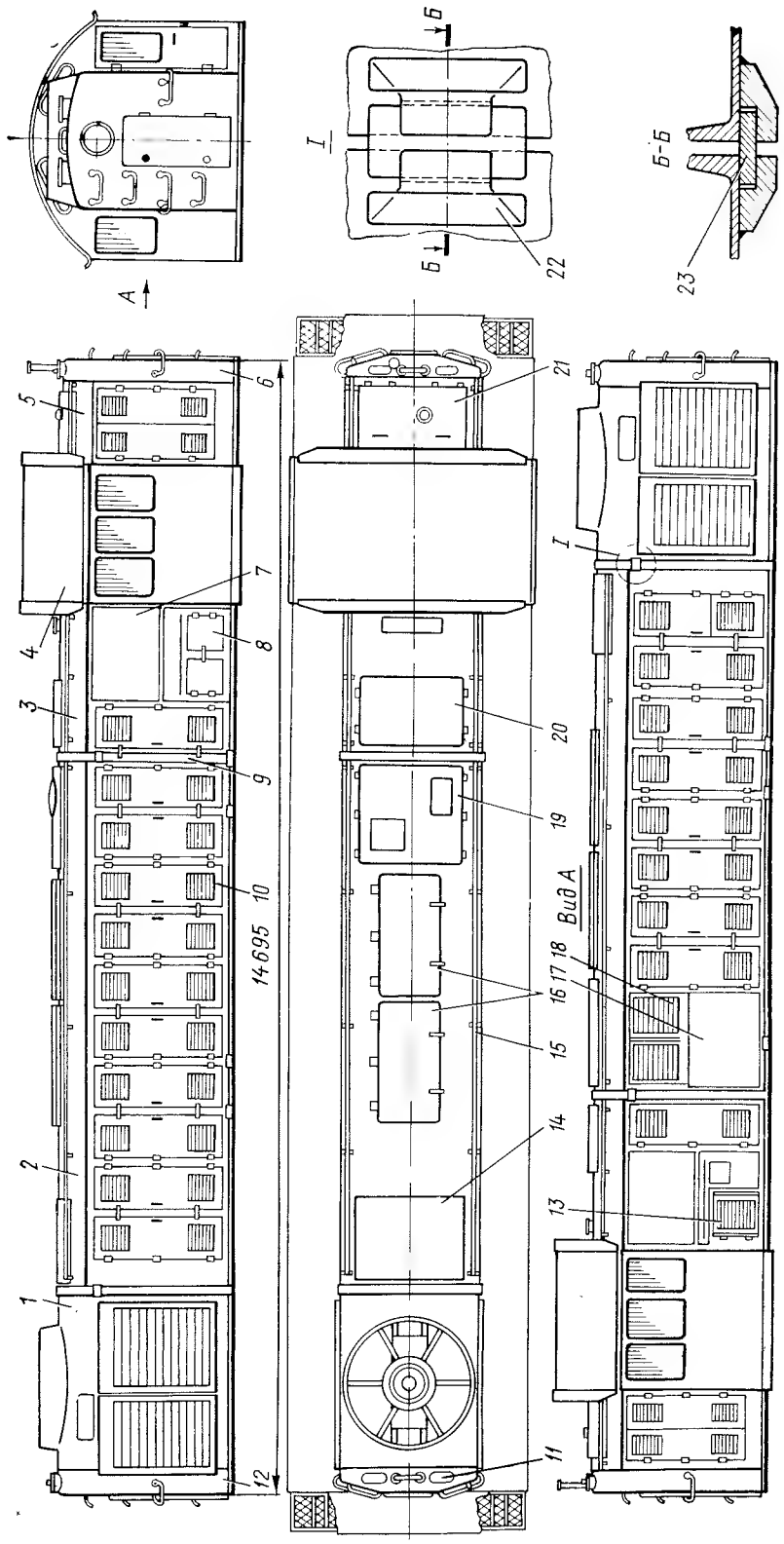


Рис. III-99. Кузов тепловоза ТЭМ2:

1 — холодильная камера; *2* — кузов над двигателем; *3* — кузов над высоковольтной камерой; *4* — кабина машиниста; *5* — кузов над аккумуляторами; *6* и *12* — корпуса песочниц; *7* — съемные элементы для доступа к электрооборудованию; *8* — дверка для доступа к двухмашинному агрегату; *9* — заделка межкузовных соединений; *10* — дверь кузова; *11* — люк для загрузки песка; *13* — жалюзи перед вентиляторами тяговых двигателей; *14* — съемный лист для доступа к водяному баку; *15* — ограждение; *16* — люки над дизель-генератором; *17* — съемный лист для доступа к воздушному фильтру; *18* — жалюзи воздушного фильтра; *19* — люк для демонтажа турбовоздуходувки; *20* — люк для демонтажа компрессора; *21* — люк над аккумуляторами; *22* — упор; *23* — клин

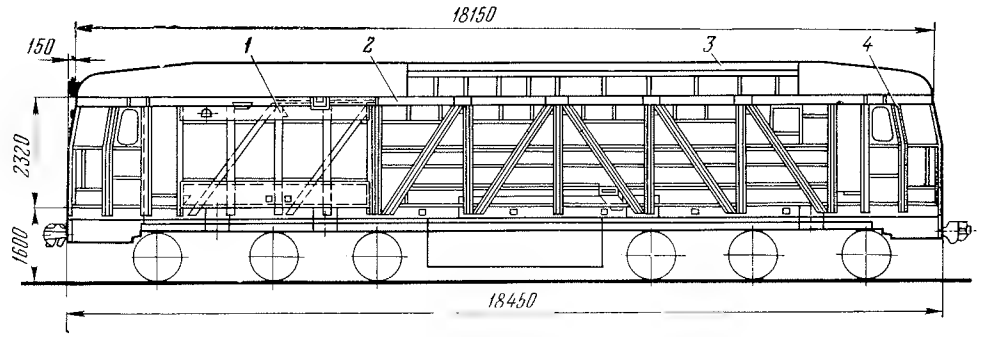


Рис. III-100. Каркас кузова тепловоза ТЭП60:

1 — каркас холодильника; *2* — каркас боковой стенки; *3* — каркас углов крыши; *4* — каркас кабины

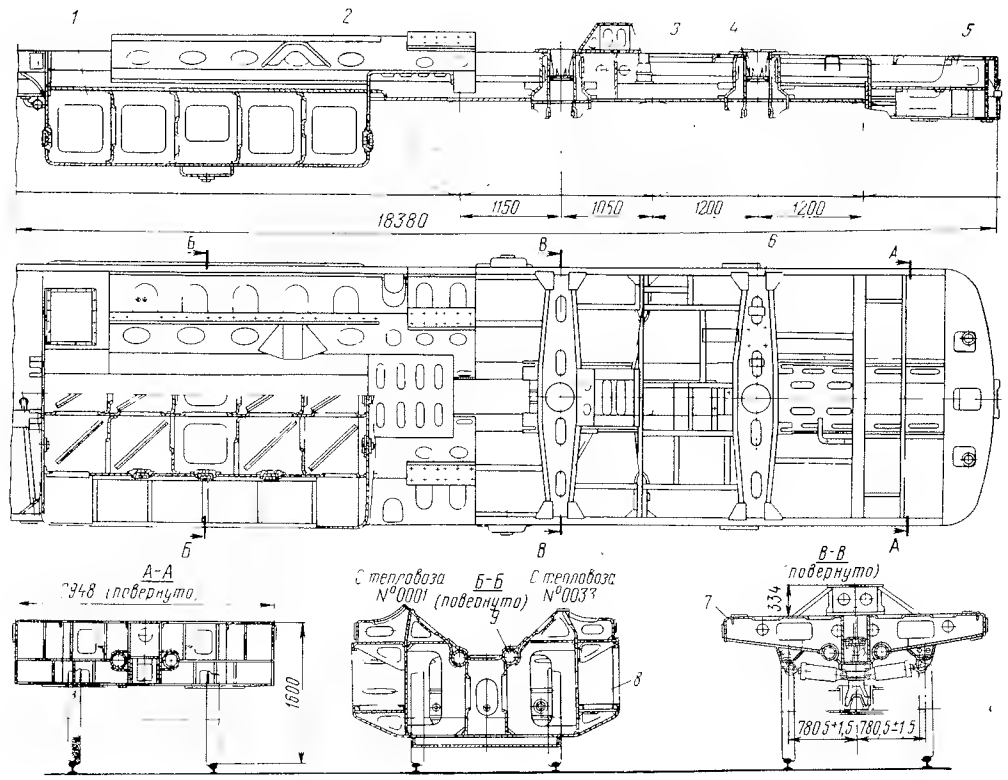


Рис. III-101. Рама кузова тепловоза ТЭП60:

1 — топливный бак; *2* — опорная часть под дизель-генератор; *3* — постамент для тормозного компрессора; *4* — гнездо центральной опоры; *5* — стяжной ящик; *6* — шкворневая балка; *7* — боковая продольная балка; *8* — ниши в баке для аккумуляторов; *9* — продольные трубы

ми толщиной 2 мм, остальные поверхности — стальными листами 1,5 мм.

В зоне дизельного помещения стенки, крыша и люки изолируют пенопластом ПСБ-С толщиной 50 мм и обшивают стальными листами толщиной 0,8 мм (ранее — полиуретановый пенопласт ПХВ-Э и обшивка перфорированными листами).

III-7. ТЕЛЕЖКИ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ

Движущая тележка дизель-поезда ДР1 поясняется рис. III-102. Рама тележки Н-образная, сварная, состоящая из двух продольных и двух поперечных балок. Коробчатое сечение продольных балок образовано двумя вертикальными листами толщиной 8 мм и горизонтальными листами толщиной 10 мм.

Допускается неперпендикулярность поперечных балок к продольной на длине ее не более 4 мм. Зазор между продольной балкой рамы и нижней частью корпуса буксы должен быть не менее 15 мм. Высота рамы тележки над уровнем головок рельсов должна быть не менее указанной на чертеже при колесах диаметром 950 мм и массе тары.

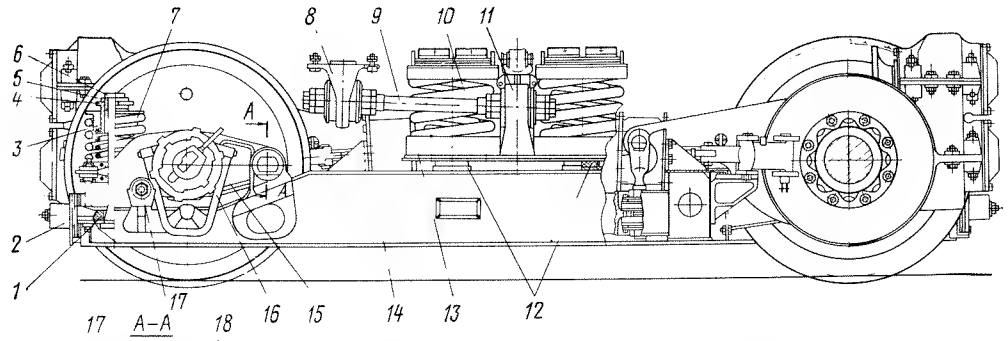


Рис. III-102. Движущая тележка дизель-поезда ДР1:

1 — резиновые шайбы демпфера; *2* — фрикционный демпфер; *3* — опора; *4* — втулка; *5* — полукольца-вкладыши; *6* — стягивающий болт; *7* — двухрядная пружина буксового подвешивания; *8* — кронштейн; *9* — тяговый поводок; *10* — пружины центрального подвешивания; *11* — кронштейн-ограничитель; *12* — скользуны; *13* — шкворневая балка; *14* — рама; *15* — буксовый рычаг; *16* — предохранительная скоба; *17* — резино-металлическая втулка; *18* — болт

Движущая тележка дизель-поезда Д1 (рис. III-103) имеет две крайние движущие и среднюю поддерживающую колесные пары. Рама тележки сварная, состоит из двух продольных балок, связанных двумя концевыми, главной поперечной и двумя промежуточными балками коробчатого сечения. Балка для крепления дизеля — труба диаметром 130 мм со стенками толщиной 8 мм. Буксовые челюсти изготовлены из листовой стали толщиной 30 мм и ребер толщиной 10 мм и приварены к нижнему поясу продольных балок.

Поддерживающие тележки (рис. III-104) моторных и прицепных вагонов дизель-поезда Д1 одинаковы по конструкции. Продольные и средние поперечные балки коробчатого сечения из стальных листов. Сечение передней концевой балки в средней части коробчатое, а на концах — корытообразное. Задняя концевая и промежуточные продольные корытообразного сечения из штампованных элементов.

Вагоны дизель-поездов ДР1 и ДР1М имеют двухступенчатое подвешивание (см. рис. III-102). Центральное подвешивание движущей тележки состоит из четырех трехрядных комплектов пружин (по два на каждую сторону), передающих нагрузку от кузова на продольные балки рамы тележки. Кузов опирается на комплекты пружин через шарнирные опоры. При относительных поперечных перемещениях кузова и тележки поддоны пружин одной стороны опираются на резино-металлические упоры; при этом обеспечивается необходимая поперечная жесткость подвешивания.

Буксовое подвешивание тележки — четыре комплекта из двухрядных пружин (по одному комплекту на буксу). На поддерживающих тележках применены двухрядные пружины в центральном подвешивании. Буксовые поводки, тяговые поводки центрального подвешивания и сайлентблоки букс такие же, как и у тележек электропоездов. Материал пружин — сталь 55С2 (допускается 60С2). Основные параметры пружин приведены в табл. III-23. Резино-металлические шайбы, размещенные под пружинами 1-й ступени подвешивания, изготовлены из резины марки 2462 формовым способом. Резина должна иметь твердость по Шору 65—80, сопротивление на разрыв 100 кгс/см², относительное удлинение не менее 300%, остаточное удлинение не более 30%, коэффициент старения через 144 ч при температуре +70° С не менее 0,7. Армировка шайбы из Ст3. Диаметр нижней шайбы 155 мм, толщина 12 мм; диаметр верхней фасонной шайбы — 160 мм. Резину крепят вулканизацией, прочность крепления не менее 20 кгс/см². Во 2-й ступени подвешивания установлены гидравлические демпферы; ранее в 1-й ступени применяли фрикционные гасители колебаний. Характеристики подвешивания дизель-поездов ДР1 с № 3 и ДР1М приведены в табл. III-24.

Вагоны дизель-поездов Д1 имеют одноступенчатое подвешивание на движущих и двухступенчатое на поддерживающих тележках. Нагрузка от кузова на раму движущей тележки передается через сферические скользящие опоры. Сферический вкладыш изготовляют из марганцовистой стали твердостью НВ 240—250; скользун — из стали, оловянистой бронзы или стали с заливкой из свинцово-оловянистой бронзы. Наличники скользуна текстолитовые. Максимальное перемещение скользуна в кривой 100 м составляет 104 мм. Скользуны поддерживающей тележки размещены на надрессорной балке люлечного подвешивания. Скользуны плоские, максимальное перемещение 70 мм. Опоры снабжены резиновыми прокладками.

У движущих тележек нагрузка от продольных балок рамы тележки передается на две колесные пары, соединенные балансирами, через два (с каждой стороны тележки) комплекта трехрядных пружин, а на 3-ю колесную пару — через два комплекта двухрядных пружин. В люлечном подвешивании поддерживающих тележек четыре комплекта двухрядных пружин, 1-я

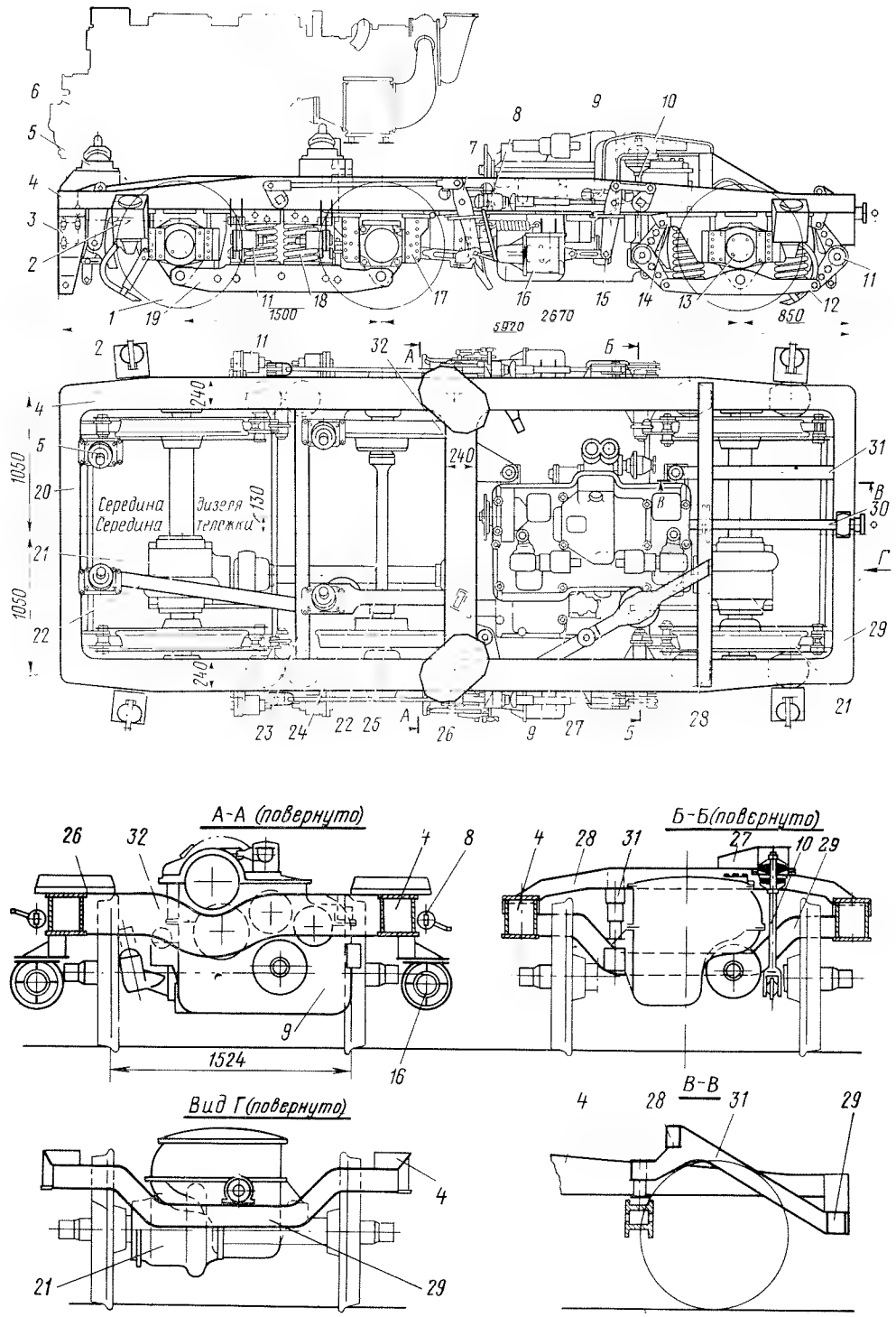


Рис. III-103. Движущая тележка дизель-поезда Д1:

1 — движущая колесная пара; *2* — песочница; *3* — путеочиститель; *4* — продольная балка рамы; *5* — опора дизеля; *6* — дизель; *7* — тормозная рычажная передача; *8* — автоматический регулятор тормозной рычажной передачи; *9* — гидромеханическая передача; *10* — шарнирный болт; *11* — фрикционный демпфер; *12* — короткий балансир буксового подвешивания; *13* — букса; *14* — кронштейн фрикционного демпфера; *15* — шарнир; *16* — тормозной цилиндр; *17* — буксовая челюсть; *18* — пружины буксового подвешивания; *19* — длинный балансир подвешивания; *20* — передняя поперечная балка рамы тележки; *21* — осевой редуктор; *22* — балки для крепления дизеля; *23* — передняя промежуточная поперечная балка; *24* — колесная пара с изогнутой осью; *25* — карданный вал; *26* — опорная плита скользуна; *27* — балка подвески гидромеханической передачи; *28* — задняя промежуточная поперечная балка; *29* — задняя поперечная балка рамы тележки; *30* — карданный вал привода редуктора вспомогательных машин; *31* — продольная балка; *32* — главная поперечная балка

Таблица III-23

Основные технические данные пружин подвешивания дизель-поездов ДР1, ДР1М и Д1

Показатели	Пружины тележек													
	движущей и поддерживающей дизель-поездов ДР1 и ДР1М					движущей дизель-поезда Д1					поддерживающей дизель-поезда Д1			
Ступень подвешивания	2-я			1-я		Трехрядная пружина			Двухрядная пружина		2-я		1-я	
Пружины	Наружная	Средняя	Внутренняя*2	Наружная	Внутренняя	Наружная	Средняя	Внутренняя	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя	Наружная	Внутренняя
Средний диаметр, мм	310	222	140	214	145	222	146	80	224	80	194	124	197	110
Диаметр прутка, мм	45	33	20	36	20	38	28	25	36	25	36	23	34	18
Число витков:														
полное	6,0	8,0	12,9	5,9	7,0	7,6	10,1	6,5	9,0	6,5	7,5	10,9	8,0	11,8
рабочее	4,5	6,5	11,4	4,4	5,5	6,1	8,6	5,0	7,5	5,0	6,0	9,4	6,5	10,3
Высота, мм:														
в свободном состоянии	461,5	471,5	496	328	273	466	453	186	565	186	400	388	438	375
под нагрузкой от массы брутто*	316,2/328,5	316,2/328,5	316,2	235/252,2	171/188,2	335	335	—	389	—	303/293	291/281	355/348	292/285
при полном сжатии	247,5	247,5	247,5	194,4	130	—	—	—	—	—	252	—	255	—
Нагрузка, кгс:														
от массы брутто*	4440/4070	2590/2380	916	3610/2940	968/805	4250	2825	—	—	—	3804/4196	1574/1747	2305/2507	658/712
при испытаниях	—	—	—	—	—	5600	3800	3650	4800	3650	4960	2050	4500	1220
при полном сжатии	6540	3740	1270	5200	1365	—	—	—	—	—	9850	—	7100	—
Навивка	Правая	Левая	Правая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Правая	Правая	Правая	Левая	Правая	Левая
Жесткость, кгс/мм	30,5	16,65	5,1	38,8	9,5	32,4	23,9	155,0	20,7	155,0	39,3	16,3	27,9	7,93
Масса, кг	73,6	36,3	—	31,8	7,9	—	—	—	—	—	—	—	32,0	7,78

* В числителе для движущих, в знаменателе — для поддерживающих тележек.
*2 Только для движущих тележек.
*3 В числителе данные для тележек прицепных вагонов, в знаменателе — для тележек моторных вагонов.

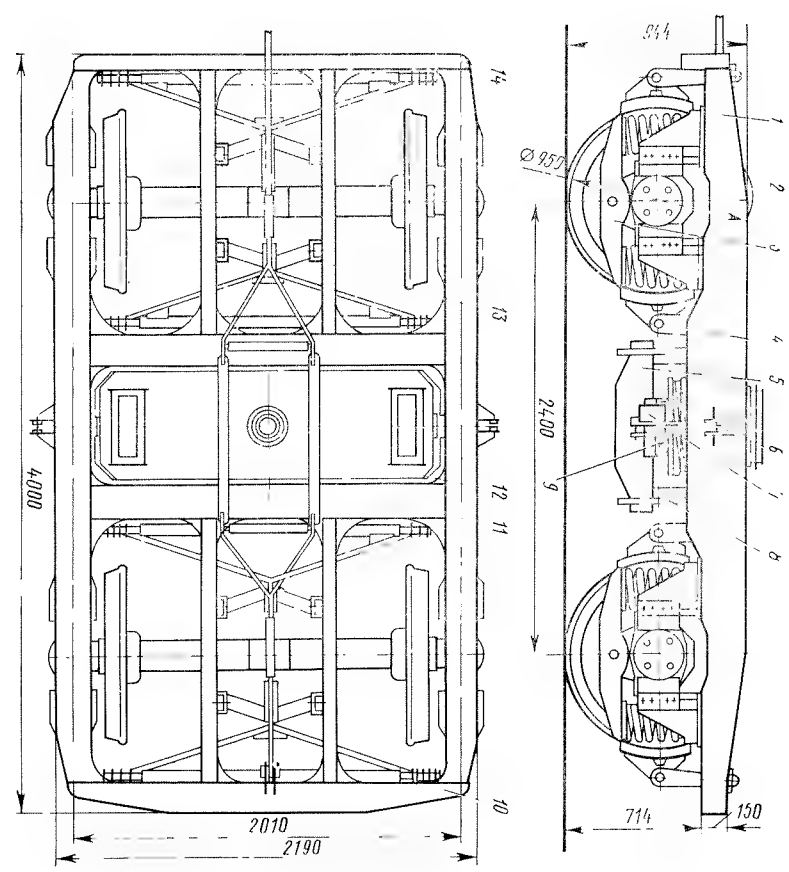


Рис. III-104. Поддерживающая тележка дизель-поезда Д1:

1 — рама; *2* — колесная пара; *3* — балансир буксового подвешивания; *4* — тормозная рычажная передача; *5* — продольные качающиеся балки; *6* — скользун; *7* — фрикционный демпфер; *8* — люлечная подвеска; *9* — подрессорная балка; *10* — передняя концевая балка; *11* — средняя поперечная балка; *12* — надрессорная балка; *13* — промежуточная продольная балка; *14* — задняя концевая балка

Таблица III-24

Основные технические данные подвешивания тележек вагонов дизель-поездов ДР1 и ДР1М

Показатели	Характеристики подвешивания					
	центрального тележки		буксового тележки		тележки	
	движущей	поддерживающей	движущей	поддерживающей	движущей	поддерживающей
Жесткость:						
вертикальная, кгс/мм	116,5*	106,3*	174,9*	174,9*2	174,8	163,1
горизонтальная поперечная при перемещениях до 16 мм и нагрузке от массы брутто, кгс/мм	71,0	71,0	612,4	612,4	73,0	73,0
угловая в поперечной плоскости (с учетом жесткости поводков), кгс·см/рад	$256 \cdot 10^5$	$235 \cdot 10^5$	—	—	$189 \cdot 10^5$	$177,5 \cdot 10^5$
Прогиб при нагрузке от массы брутто, мм	136	122	49	41	185	163

* Жесткость отнесена к одной стороне подвешивания.
*2 Жесткость отнесена к одной буксе.

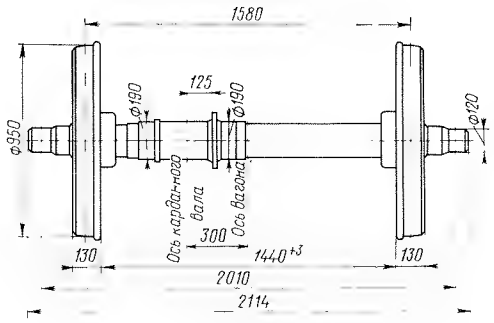


Рис. III-105. Передняя движущая колесная пара дизель-поезда Д1

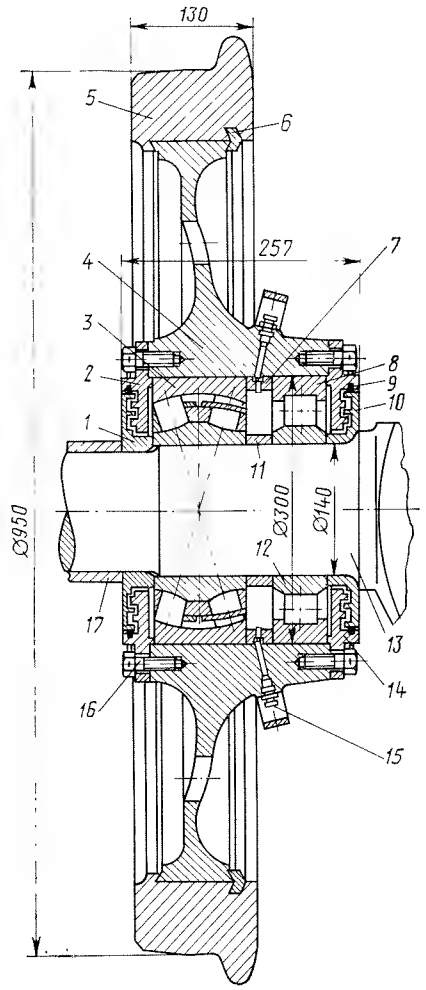


Рис. III-106. Колесо поддерживающей колесной пары с изогнутой осью:

1 — переднее лабиринтное кольцо; *2* — передняя крышка; *3* — двухрядный сферический подшипник; *4* — колесный центр; *5* — бандаж; *6* — укрепительное кольцо; *7* — дистанционное кольцо; *8* — роликовый подшипник; *9* — фетровое уплотнение; *10* — заднее лабиринтное кольцо; *11* — распорная втулка; *12* — роликовый подшипник; *13* — ось; *14* — задняя крышка; *15* — масленка; *16* — болт; *17* — упорная втулка

ступень подвешивания — двухрядные пружины. Между рамой тележки и пружинами размещены деревянные и резиновые прокладки. Фрикционные гасители установлены между продольными балансирами и рамой тележки и между третьей колесной парой и рамой трехосной моторной тележки.

Оси движущих колесных пар дизель-поездов ДР1 изготовляют из осевой стали Ос.Л. У оси овальность и конусность поверхностей диаметрами 200 и 130 мм — не более 0,015 мм, овальность поверхностей диаметрами 197, 199 и 202 мм — не более 0,025 мм, а конусность, направленная большим диаметром только к середине оси, не более 0,05 мм. Радиальное биение (при проверке в центрах) этих поверхностей не более 0,03 мм. Указанные поверхности и переходные галтели к торцу предподступичной части накатывают роликом. Поверхности диаметром 197, 199 и 202 мм обрабатывают по отверстиям в ступицах с учетом получения установленного натяга.

Оси поддерживающих колесных пар изготовляют из стали Ос. В ГОСТ 4728—72 (допускается сталь Ос.Л). Допуски на овальность, конусность и радиальное биение шейки и посадочных поверхностей такие же, как и у движущей колесной пары.

Цельнокатаные колеса — из стали марки V МРТУ 14-4-14-65. Размеры и их допускаемые отклонения должны соответствовать ГОСТ 9036—59 (за исключением размера 195^{+8}_{-4} мм). Общие технические требования — по ГОСТ 6362—59. Диаметр посадочной поверхности (197 мм у колес движущей и 190 мм у колес поддерживающей колесных пар) подбирают с учетом натяга для напрессовки на ось. Радиус сопряжения внутренней поверхности обода с его боковыми сторонами или фаска не должны превышать 6 мм.

Ступицу дискового тормоза изготовляют из стали 45, допускается сталь 20ЛII и 25ЛII ГОСТ 977—65. Овальность посадочного отверстия в ступице не должна превышать 0,03, а конусность — 0,05 мм. Диски — из чугуна СЧ18-36 ГОСТ 1412—70, литые. Твердость материала отливки НВ 170—229. На рабочей поверхности допускаются раковины глубиной до 8 мм и общей площадью не более 3 см². Края раковины разделывают и кромки закругляют. Минимальное расстояние между раковинами 70 мм, от края диска — не менее 20 мм. Усилие при напрессовке на ось 40—70 тс, допускается скачок от 2 до 12 тс.

Цельнокатаные колеса напрессовывают на ось с усилием 80—105 тс. После обточки бандажей отклонения профиля бандажа от шаблона должны находиться в пределах, указанных для тепловозов.

Биение торцовых поверхностей тормозных дисков при проворачивании колесной пары в буксах — не более 0,5 мм, а радиальное биение — не более 1 мм. Разница диаметров колес по кругу катания двух колесных пар одной тележки допускается не более 1 мм у движущей и 3 мм у поддерживающей тележек.

Таблица III-25

Основные технические данные буксовых роликовых подшипников

Показатели	Тележки дизель-поездов серии			
	ДР1	Д1		
Колесная пара	Движущая и поддерживающая	Движущая и поддерживающая	Поддерживающая с изогнутой осью*	
Число подшипников в буксе	2	1	2	—
Тип подшипника	Однорядный	Двухрядный	Двухрядный	Однорядный
Вид роликов	Цилиндрические	Сферические	Сферические	Цилиндрические
Обозначение подшипников	3Н42726Л или 3Н232726Л1	SKF22326CK/C3 или 2Н73624	SKF22328C/C3 или 2Н3628	NU328EM/C4 или 2Н32328
Габаритные размеры подшипника, мм	130×250×80	120×280×93	140×300×102	140×300×62
Способ крепления на оси	Горячая посадка	С помощью втулки	Горячая посадка	

* Подшипники колесного центра.

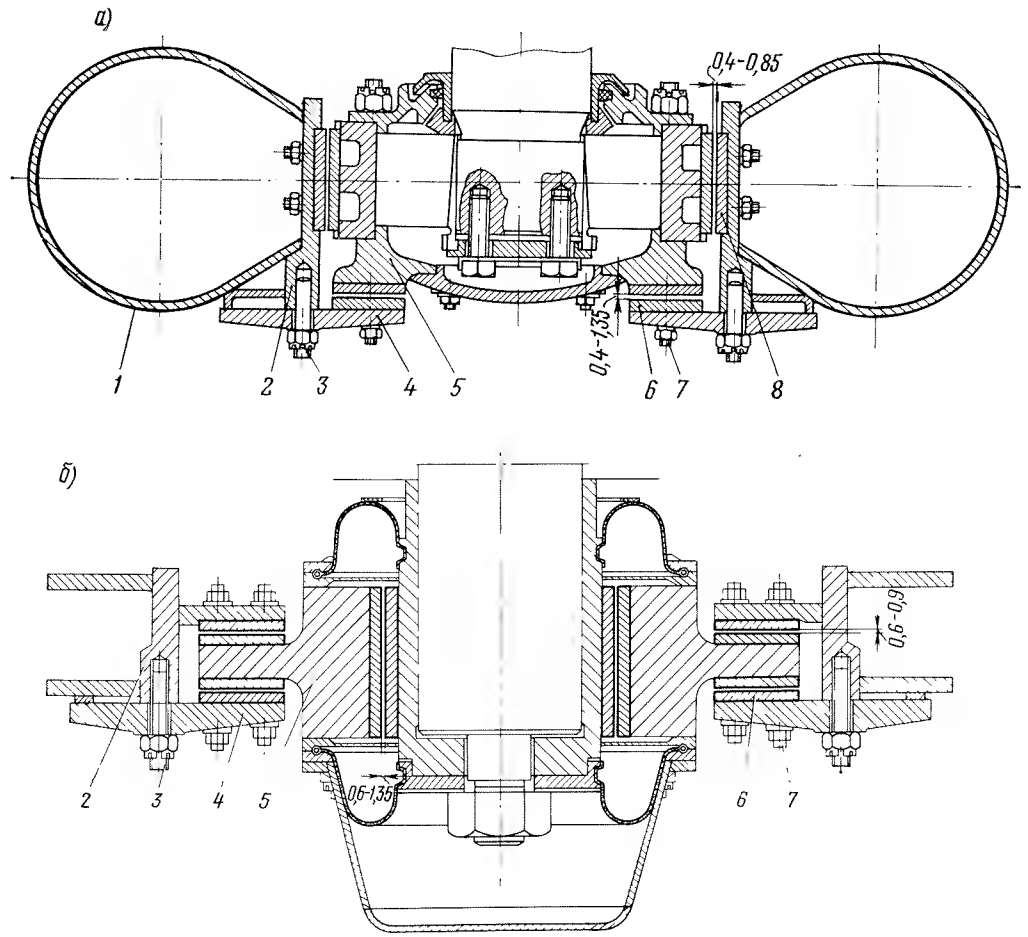


Рис. III-107. Буксовый узел движущей (*а*) и поддерживающей (*б*) колесных пар тележки моторного вагона дизель-поезда Д1:

1 — направляющий кожух пружины; *2* — буксовая челюсть; *3* — шпилька; *4* — направляющий лист; *5* — корпус буксы; *6* — поперечный рамный наличник; *7* — болт; *8* — продольный рамный наличник

Колесные пары дизель-поезда Д1 имеют бандажные колеса. К бурту средней части оси движущей колесной пары (рис. III-105) призонными болтами крепят ведомую коническую шестерню осевого редуктора. Поддерживающая колесная пара движущей тележки у дизель-поездов первых выпусков имела невращающуюся изогнутую ось, а колеса вращались в подшипниках, смонтированных в колесных центрах (рис. III-106). Внутренний диаметр ступицы колесного центра не должен превышать 300,15 мм; при большем износе ступицу растачивают и восстанавливают наплавкой.

Буксы дизель-поездов Д1 челюстные, а у дизель-поездов ДР1 и ДР1М соединены с рамой тележки рычагами. Буксовые подшипники роликовые, их основные данные приведены в табл. III-25. Подшипник 3Н42726Л монтируют так, чтобы торец кольца с маркировкой был обращен к лабиринтному уплотнению. Между торцом лабиринтного кольца и внутренним кольцом подшипника не должен проходить щуп 0,05 мм. Аксиальный зазор у двух подшипников в диапазоне 0,5—1,5 мм. Натяг при горячей посадке внутренних колец 0,035—0,065 мм, температура подогрева в цилиндровом масле 120—150° С.

Буксовые узлы (рис. III-107) движущих колесных пар и колесных пар поддерживающих тележек дизель-поезда Д1 не имеют принципиальных различий. Рамные наличники крепятся к буксовым челюстям и направляющим листам болтами с потайными головками. Наличники закаливают на глубину 1—1,5 мм до твердости HRC 53—62. Зазор между продольными наличниками не должен превышать 3 мм. Посадка буксовых подшипников на оси колесных пар дизель-поездов Д1 втулочная. Величину усилия при запрессовке контролируют по продольному перемещению конической втулки (0,6—1,2 мм) и уменьшению радиального зазора в подшипниках на 0,03—0,05 мм. После монтажа подшипника на него надевают нагретый до температуры 150° С корпус буксы.

III-8. КУЗОВА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ

Кузова вагонов дизель-поездов несущей конструкции, сварные. Рама кузова дизель-поезда ДР1 состоит из передней и задней консолей, соединенных продольными балками из гнутых швеллеров, угольников и диафрагм, обшитых с двух сторон листами. Поперечные элементы рамы моторного вагона изготовлены из швеллера № 14, а прицепного из Z-образных элементов. Обрешетка кузова (рис. III-108) выполнена из стоек и продольных элементов жесткости, крыша — из поперечных Z-образных дуг и продольных связей, каркас лобовой стенки — из вертикальных штампованных стоек и горизонтальных дуг, а торцовых стенок — из гнутых профилей. Каркас обшит стальными гофрированными листами.

Рама моторного вагона (рис. III-109) дизель-поезда Д1 состоит из трех частей: лобовой, промежуточной и концевой. Боковые продольные балки изготовлены из швеллера № 18, средние продольные и промежуточные поперечные балки корытообразного сечения, штампованные. Шкворневая балка сварная из горизонтальных и вертикальных листов. В конструкции рамы широко применяются прокат и штампованные элементы. Каркас кузова изготовлен из штампованных элементов различного профиля толщиной 2—3 мм, наружная обшивка — листовая сталь толщиной 1,5—2,5 мм, пол — 1 мм.

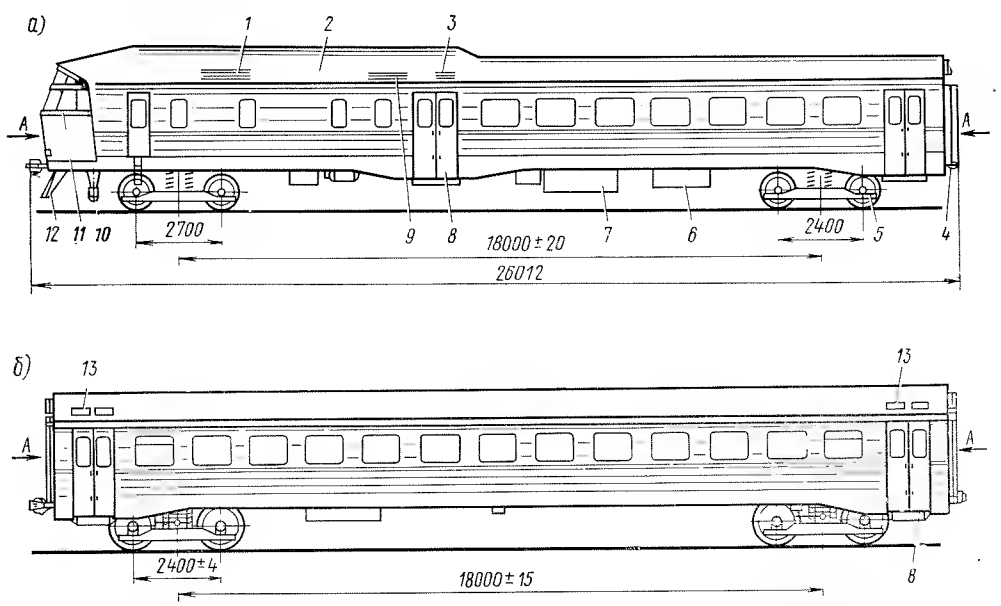


Рис. III-108. Кузова моторного (*а*) и прицепного (*б*) вагонов дизель-поезда ДР1:

1 — радиаторы теплообменника; *2* — крыша над машинным отделением; *3* и *9* — жалюзи в системе вентиляции моторного вагона; *4* — упругая переходная площадка; *5* — поддерживающая тележка; *6* — аккумуляторная батарея; *7* — топливный бак; *8* — входные раздвижные двери; *10* — движущая тележка; *11* — кабина машиниста; *12* — путеочиститель; *13* — жалюзи в системе вентиляции прицепного вагона

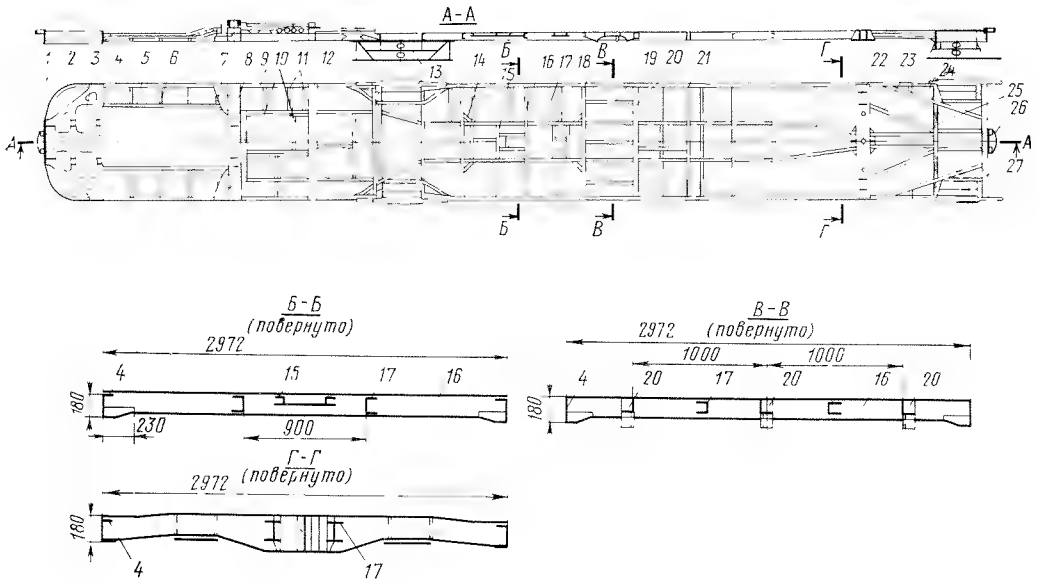


Рис. III-109. Рама кузова моторного вагона дизель-поезда Д1:

1 — кронштейн автосцепки; *2* — контурная балка лобовой части; *3* — лобовая часть рамы; *4* — боковая продольная балка; *5* — продольные балки в машинном отделении; *6* — поперечные связи площадок машинного отделения; *7* — опорная плита скользуна; *8* — главная поперечная балка рамы в машинном отделении; *9* — элемент боковой продольной балки; *10* — опорные балки крышки люка для осмотра гидропередачи; *11* — опорные балки котла; *12* — поперечная балка; *13* — входные ступени; *14* — элемент жесткости; *15* — опорные балки крышки люка для осмотра редуктора; *16* — промежуточные поперечные балки; *17* — средняя поперечная балка; *18* и *20* — поперечные балки для крепления топливного бака; *19* — продольные балки для крепления топливного бака; *21* — поперечная балка для крепления ящика аккумуляторной батареи; *22* — шкворневая балка; *23* и *24* — короткий и длинный раскосы; *25* — лобовая балка; *26* — отрезок хребтовой балки; *27* — буферная балка

IV. ДИЗЕЛИ ТЕПЛОВОЗОВ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ

Конструкция дизелей тепловозов и дизель-поездов показана на рис. IV-1—IV-10,а основные технические данные дизелей приведены в табл. IV-1 и IV-2.

На дизелях 2Д100, 11Д45, 14Д40, 2Д70 применяют объединенные всережимные непрямого действия регуляторы частоты вращения с гидравлическим серводвигателем и автоматическим регулированием частоты вращения и мощности, на дизелях 10Д100, ПДГ-1М, Д50, 2Д50, М756, М753, K6S10DR, 12V70DR, XVIIV170 240, 12VFE 17/24, 1Д12 — всережимные центробежные непрямого действия, на дизелях K6S310DR — комбинированные, а на дизелях 12V170DR — всережимные центробежные с гидравлическим усилителем регуляторы частоты вращения. Дизели типов 2Д100, 10Д100, 2Д70, 5Д49, 2В-5Д49, ПДГ-1М, K6S310DR, 6S310DR имеют топливный насос плунжерный с постоянным ходом и регулировкой количества подачи топлива перепуском в конце нагнетания, дизели 11Д45 и 14Д40 — блочный золотникового типа соответственно шестнадцати и двенадцатисекционный, дизели М756А, Б, В, М753 и 1Д12—блочный двенадцатиплунжерный, дизели 12V170DR — блочный из двух шестиплунжерных блоков XVIIV170/240 и 12VFE17/24 — блочный соответственно восьми- и шестиплунжерный с переменным ходом с регулированием подачи топлива перемещением точки качения рычага привода плунжера.

В системе смазки дизелей 2Д100, 10Д100, 2Д70, ПДГ-1М применены шестеренчатые насосы центробежного фильтра, у дизелей 11Д45, 14Д40, 5Д49, 2В-5Д49, K6S310DR, 6S310DR подвод масла к центробежному фильтру осуществляется от нагнетающего (главного) масляного насоса, у дизелей М756А, Б, В и М753 — привод центробежного фильтра механический от системы передачи дизеля (от ведущего валика нагнетающего масляного насоса), у дизелей 12VFE17 24 подвод масла к центробежному фильтру осуществляется от напорной ветви откачивающего насоса.

Для изготовления узлов и деталей дизелей применяют следующие материалы:

блоков дизелей —

2Д100, 10Д100, 11Д45, 14Д40, 2Д70, 5Д49, K6S310DR — сталь (сварка);

ПДГ-1М, Д50, 2Д50, 12V170DR, XVIIV170/240, 12VFE17/24, 1Д12 — чугун (литье);

М756, М753 — алюминиевый сплав (литье);

коленчатых валов дизелей—

2Д100, 10Д100 — чугун;

11Д45, 14Д40, 2Д70 — чугун азотированный;

М756, М753 — сталь азотированная;

вкладышей подшипников коленчатых валов дизелей—

2Д100, 10Д100, ПДГ-1М, Д50, 2Д50 — бронзу с баббитовой заливкой;

для остальных дизелей — сталь с заливкой свинцовистой бронзой;

поршней дизелей—

11Д45, 14Д40, 5Д49—чугун и сталь для головок;

10Д100, 2Д100—чугун (цельнолитой); для остальных дизелей—алюминиевый сплав;

гильз цилиндров дизеля —

1Д12, М756, М753, — сталь;

2Д70, 2Д100, 10Д100 — чугун и сталь для рубашек;

для остальных дизелей — чугун;

цилиндровых крышек дизелей—

М753, М756, 1Д12—алюминиевый сплав;

для остальных дизелей — чугун для днищ и алюминиевый сплав для верхних частей;

колец поршневых — чугун и сталь (для верхних у дизеля М753, М756).

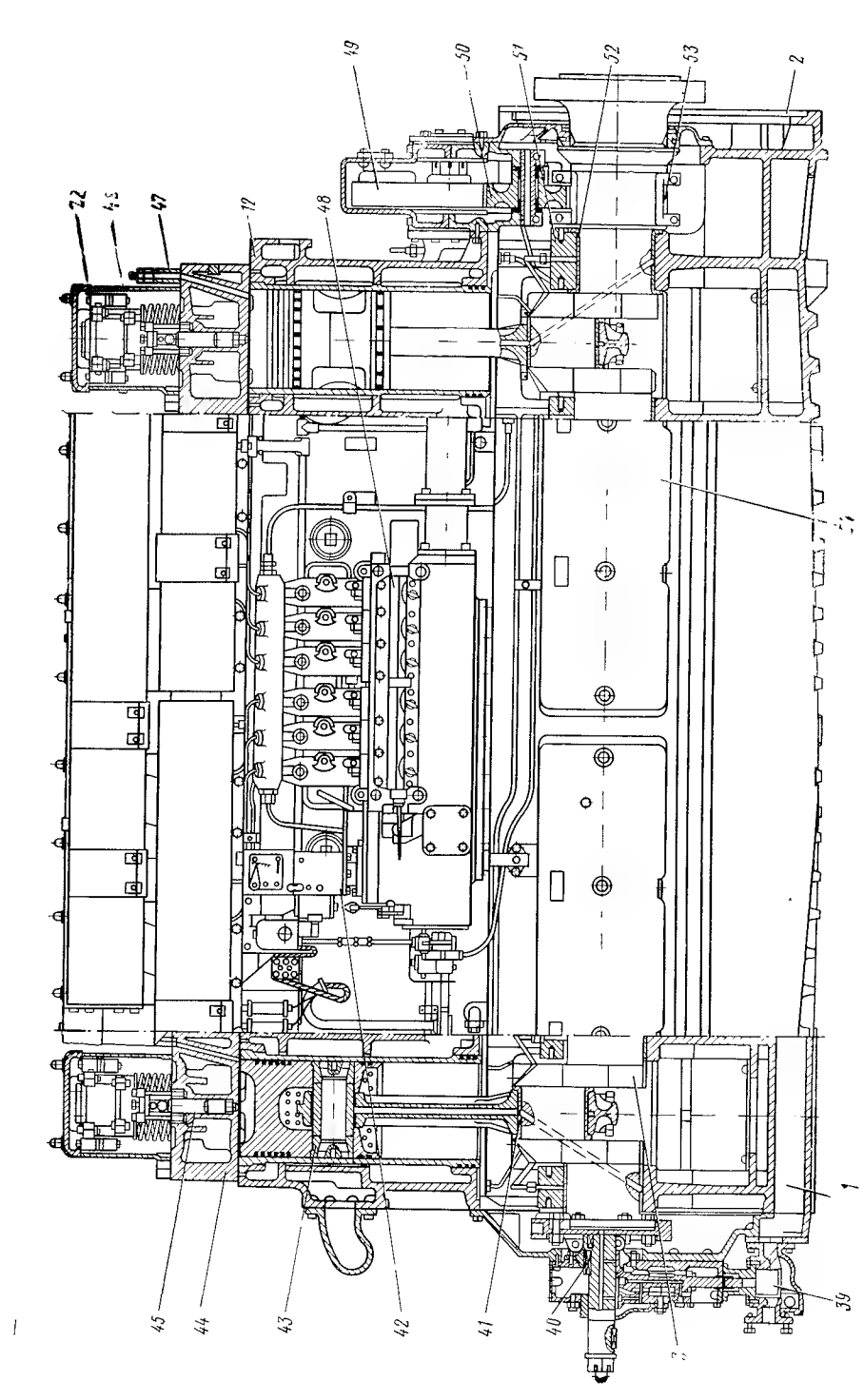


Рис. IV-1. Продольный разрез дизеля Д50:

39 — масляный насос; *40* — привод масляного насоса; *41* — шатунный подшипник; *42* — регулятор частоты вращения; *43* — поршневой палец; *44* — крышка цилиндра; *45* — форсунка; *46* — корпус привода клапанов; *47* — индикаторный кран; *48* — топливный насос; *49* — шестерня привода распределительного вала клапанов; *50* — промежуточная (паразитная) шестерня привода; *51* — крышка упорного подшипника коленчатого вала; *52* — упорный подшипник коленчатого вала; *53* — разъемная ведущая шестерня на коленчатом валу; *54* — крышка люков

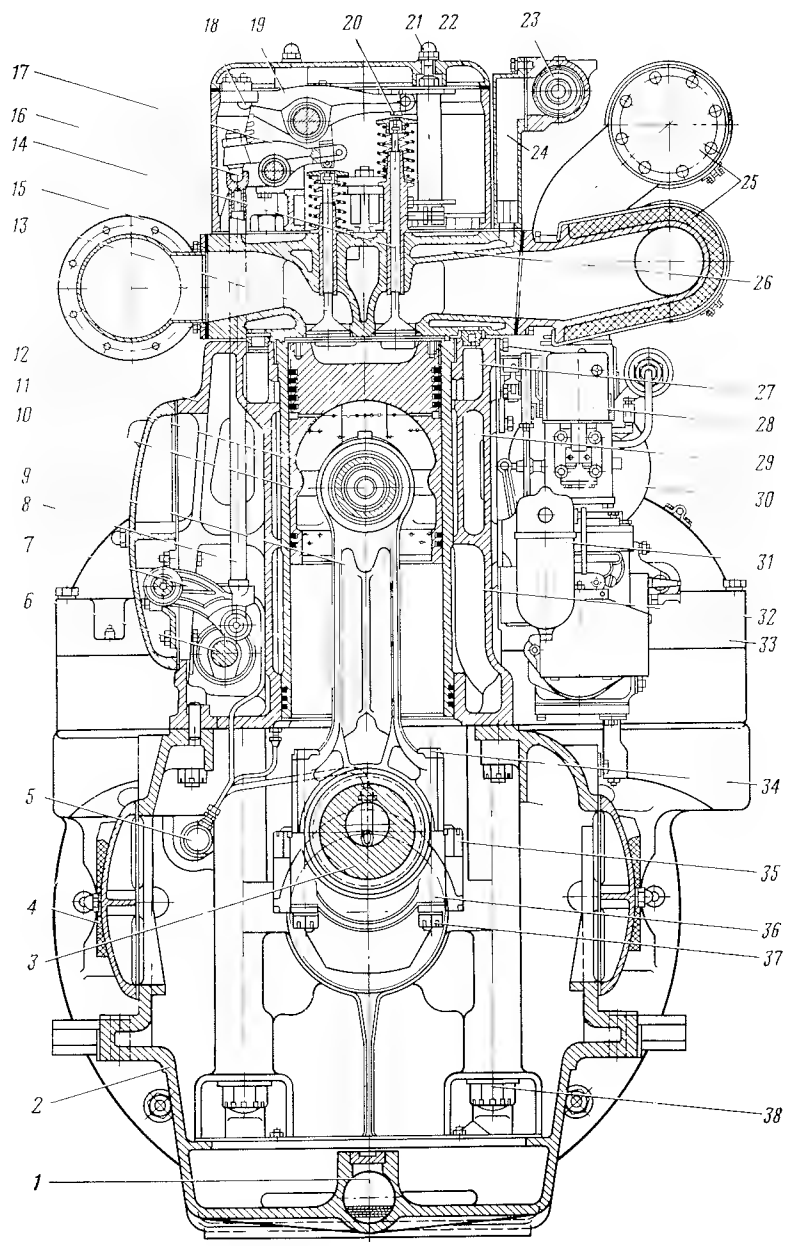
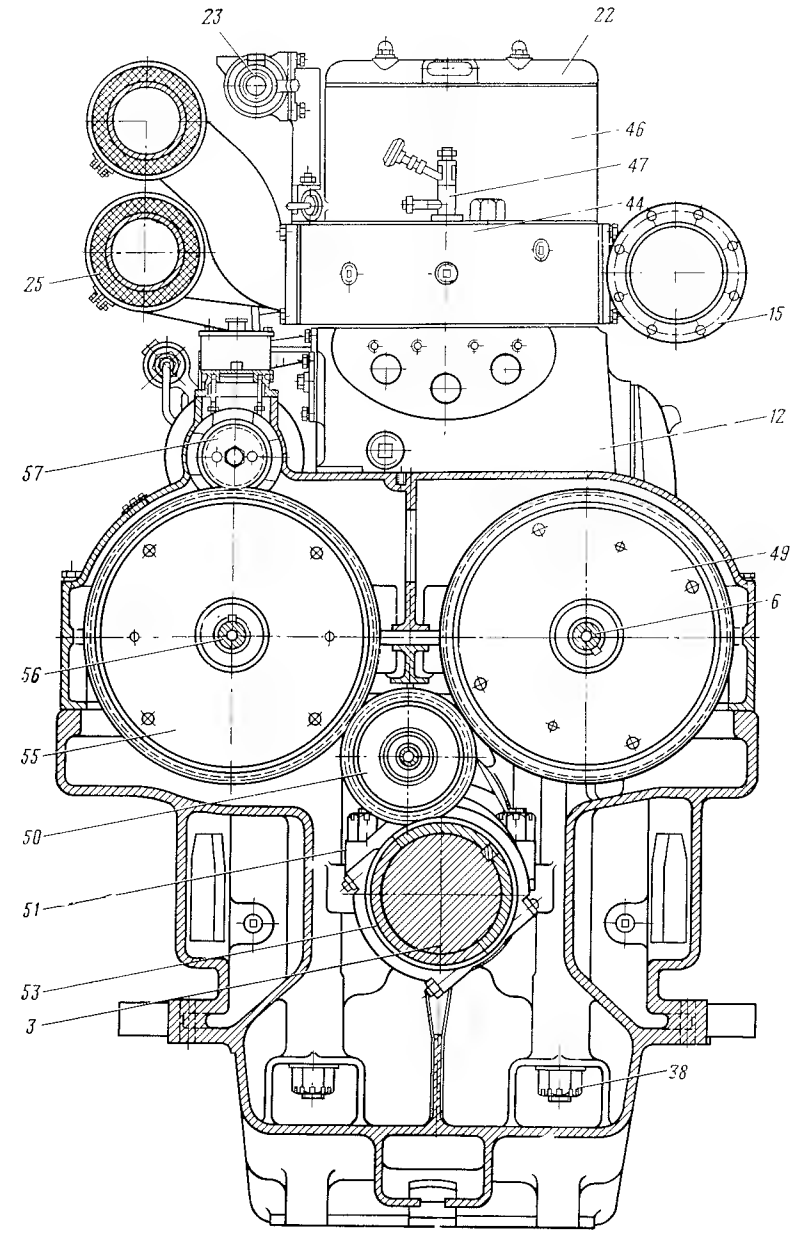


Рис. IV-2. Поперечный разрез

1 — масляный канал в раме дизеля; *2* — рама дизеля; *3* — коленчатый вал; *4* — крышка люков; поршень; *11* — гильза цилиндра; *12* — блок цилиндров; *13* — впускной клапан; *14* — выпускной рычаг впускного клапана; *18* — регулировочный болт рычага выпускного клапана; *19* — рычаг вы корпуса привода клапанов; *23* — водяной коллектор; *24* — водяной патрубок; *25* — выпускные кол регулятора частоты вращения; *29* — водяной канал в блоке; *30* — водяной насос; *31* — топливные вала; *34* — шатунный болт; *35* — гайка крепления коренных подшипников; *36* — нижняя половина *55* — шестерня привода вала топливного насоса; *56* — вал привода топливного насоса; *57* — шестерня



дизеля Д50:

5 — масляная магистраль; *6* — распределительный вал; *7* — рычаг; *8* — штанга; *9* — шатун; *10* — клапан; *15* — наддувочный коллектор; *16* — регулировочный болт рычага впускного клапана; *17* — пускного клапана; *20* — ударник рычага; *21* — гайка крепления крышки корпуса; *22* — крышка лекторы; *26* — водяной канал в цилиндровой крышке; *27* — водяной канал в блоке; *28* — соленоид фильтры тонкой очистки; *32* — водяной канал в блоке; *33* — корпус привода распределительного головки шатуна; *37* — гайка шатунного болта; *38* — гайка анкерной шпильки крепления блока; водяного насоса

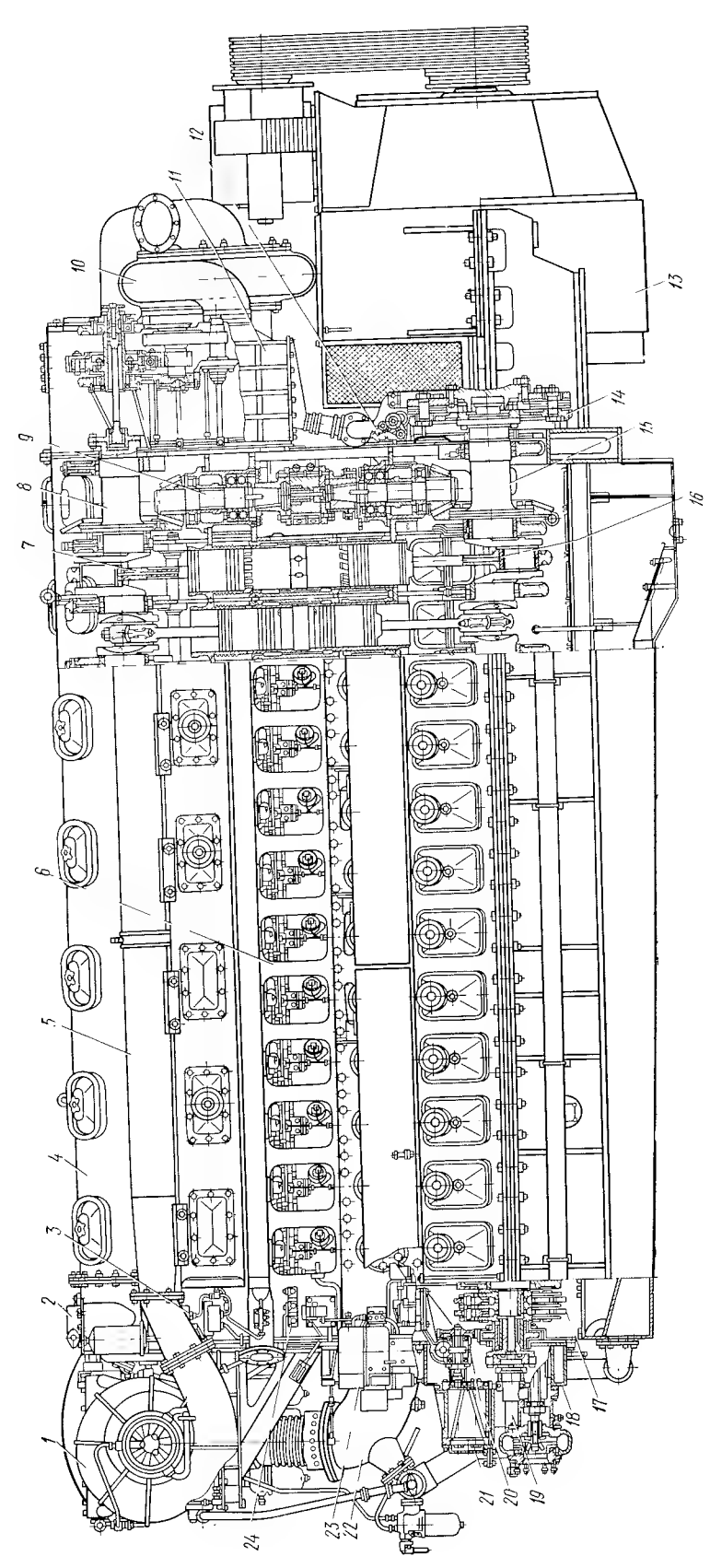


Рис. IV-3. Продольный разрез дизель-генератора 10Д100:

1 — турбокомпрессор; *2* — маслоотделитель; *3* — реле давления масла; *4* — крышка блока; *5* — ресивер; *6* — блок; *7* — шатун верхний; *8* — коленчатый вал верхний; *9* — вертикальная передача; *10* — нагнетатель второй ступени с редуктором; *11* — воздухоохладитель; *12* — валоповоротный механизм; *13* — генератор; *14* — муфта привода генератора; *15* — коленчатый вал нижний; *16* — шатун нижний; *17* — антивибратор; *18* — плита насосов; *19* — привод к насосу и вентилятору; *20* — привод масляного насоса; *21* — масляный насос; *22* — выпускной патрубок; *23* — объединенный регулятор; *24* — датчики электроманометров для измерения давления масла в верхнем масляном коллекторе

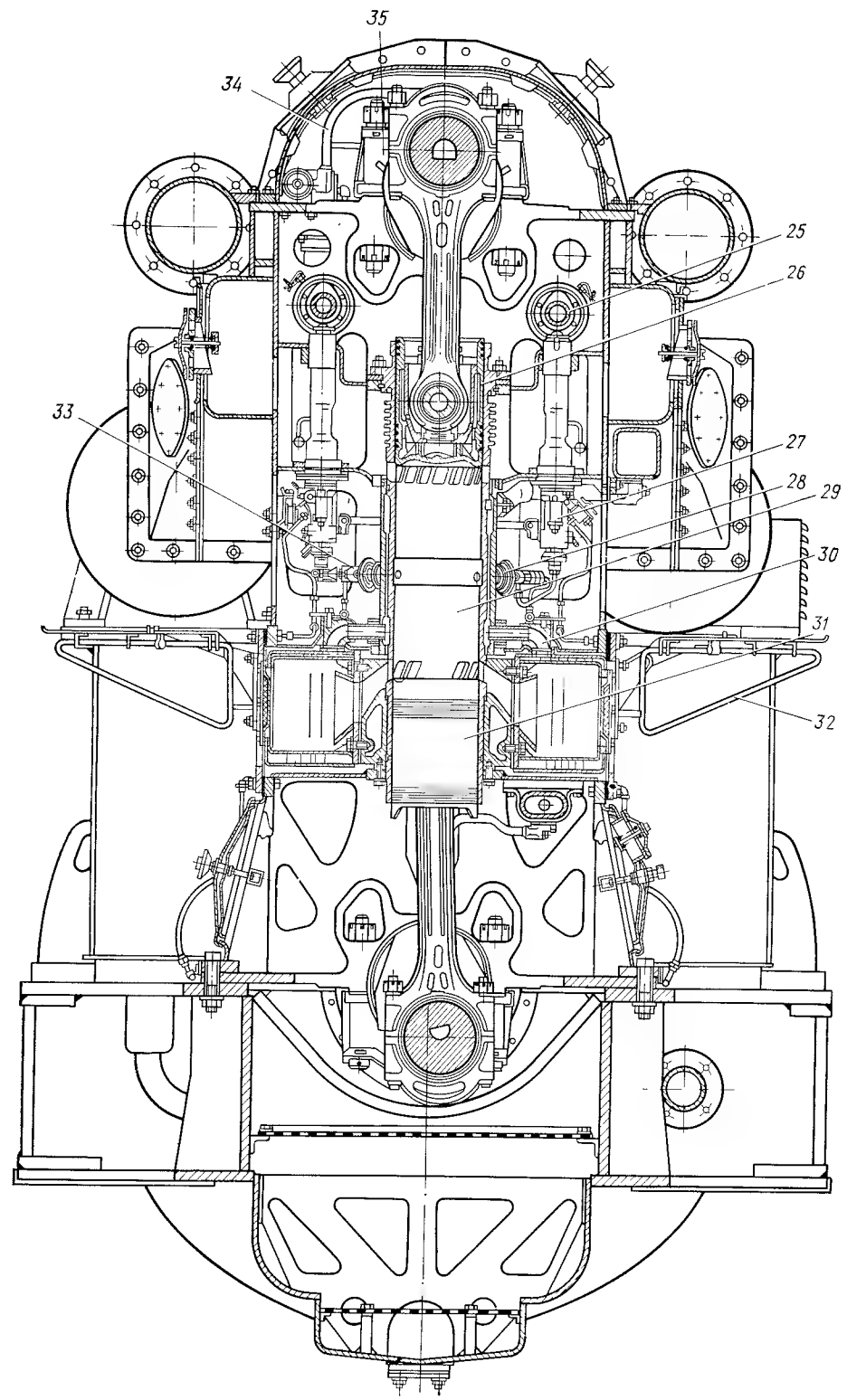


Рис. IV-4. Поперечный разрез дизель-генератора 10Д100 по десятому цилиндру:

25 — вал топливных насосов; *26* — поршень верхний; *27* — топливный насос; *28* — форсунка; *29* — гильза цилиндра; *30* — трубопровод воды; *31* — поршень нижний; *32* — откидные площадки; *33* — индикаторный кран; *34* — трубопровод масла; *35* — коренной подшипник верхнего коленчатого вала

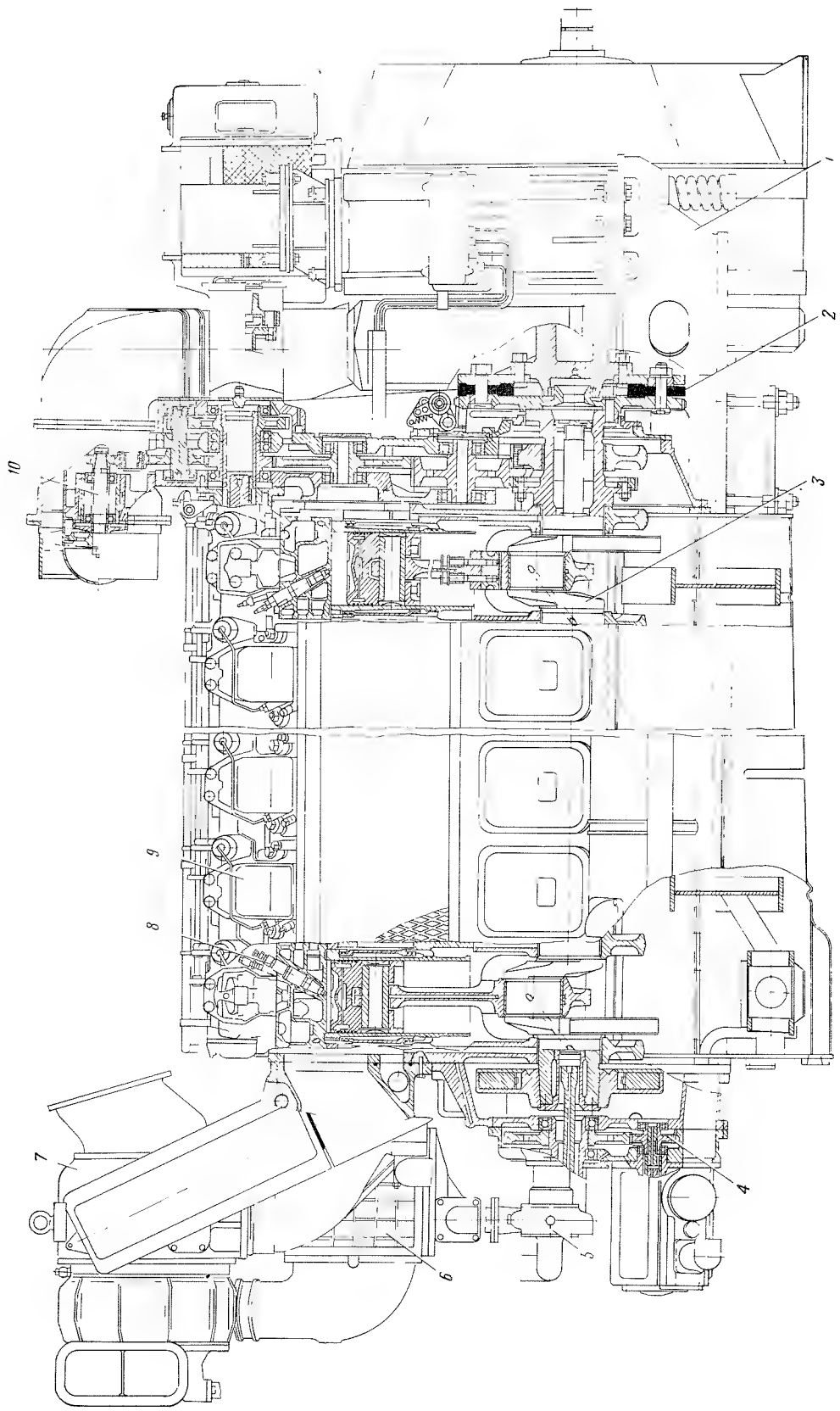


Рис. IV-5. Продольный разрез дизель-генератора 1-9ДГ (5Д49):

1 — рама под дизель и генератор; *2* — муфта; *3* — коленчатый вал; *4* — привод насосов; *5* — насос водяной; *6* — охладитель наддувочного воздуха; *7* — турбокомпрессор; *8* — форсунка; *9* — крышка цилиндра; *10* — вентилятор для охлаждения генератора

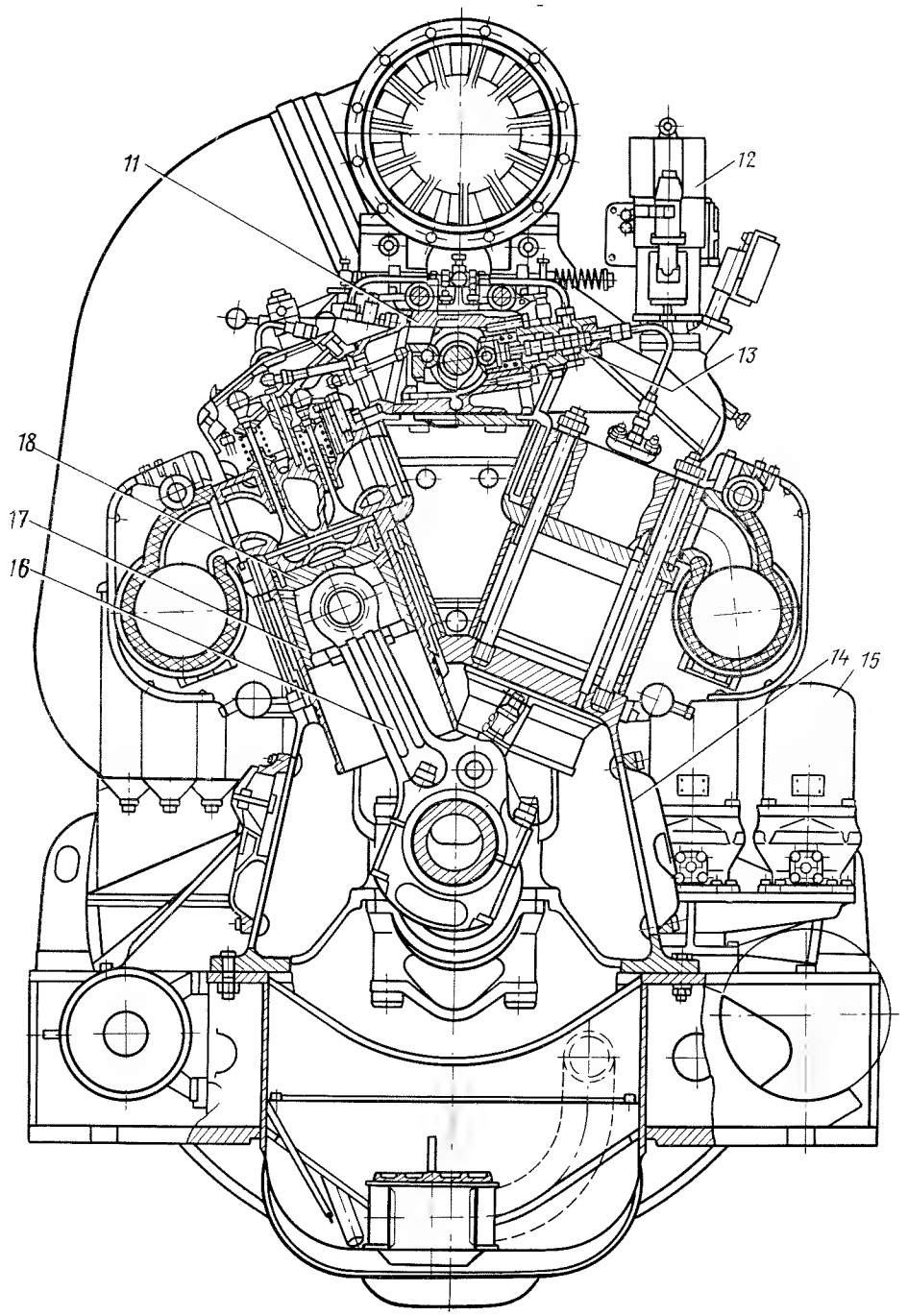


Рис. IV-6. Поперечный разрез дизель-генератора 1-9ДГ(5Д49):

11 — лоток с распределительным механизмом; *12* — регулятор объединенный; *13* — насос топливный; *14* — блок цилиндров; *15* — фильтр масла центробежный; *16* — шатуны; *17* — втулка цилиндра; *18* — поршень

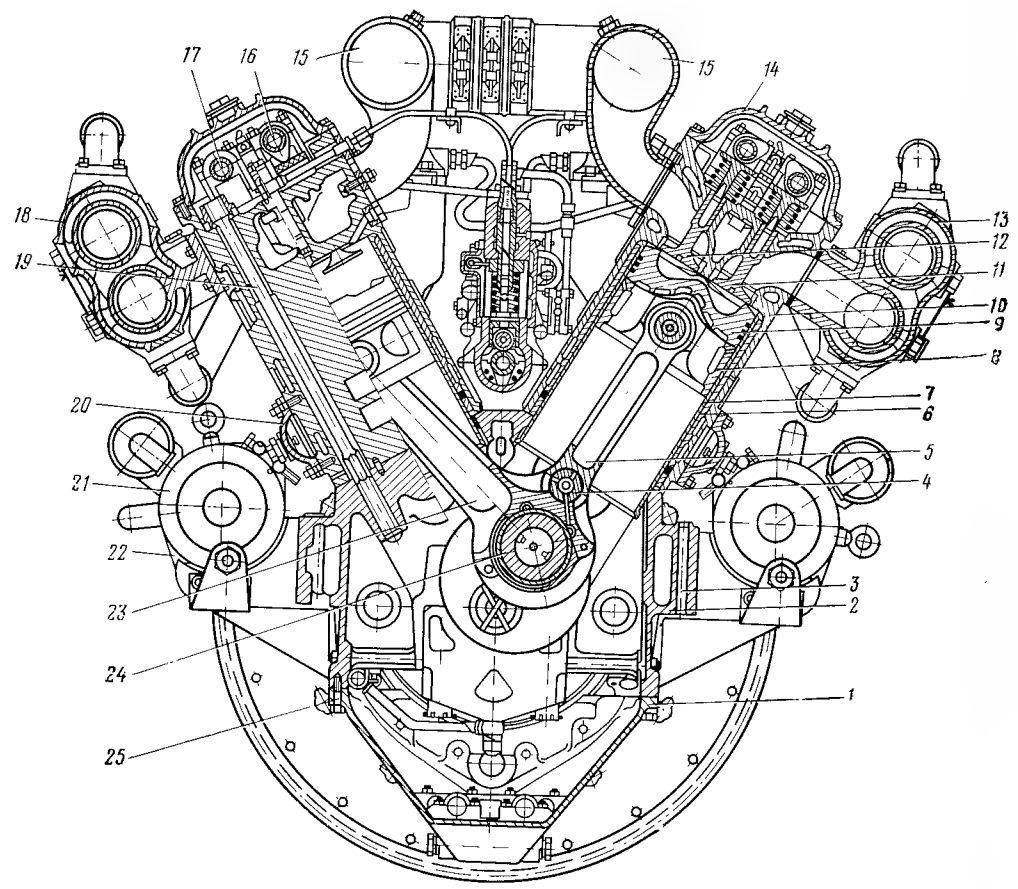


Рис. IV-7. Поперечный разрез дизеля М756:

1 — картер нижний; *2* — картер верхний; *3* — отверстие крепления дизеля; *4* — палец прицепного шатуна; *5* — шатун прицепной; *6* — рубашка гильзы; *7* — гильза цилиндра; *8* — поршень; *9* — поршневые кольца; *10* — моноблок цилиндров; *11* — клапан выпуска; *12* — клапан впуска; *13* — выпускной коллектор правый; *14* — крышка моноблока; *15* — впускные коллекторы; *16* — распределительный валик впускных клапанов; *17* — распределительный валик выпускных клапанов; *18* — выпускной коллектор левый; *19* — силовая шпилька; *20* — коллектор подвода воды в моноблок; *21* — электростартер; *22* — лента крепления стартера; *23* — шатун главный; *24* — коленчатый вал; *25* — болт сшивной картеров

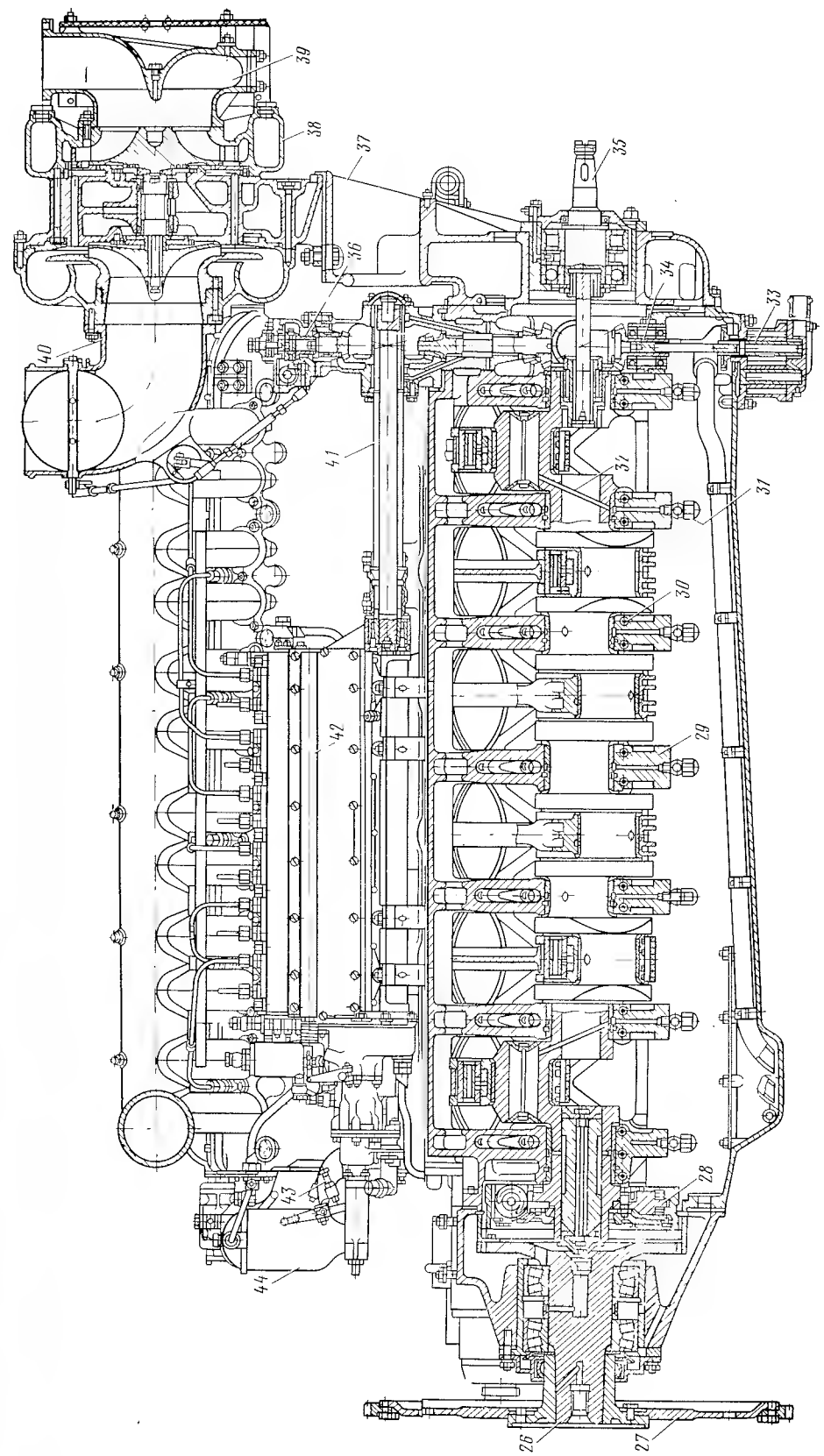


Рис. IV-8. Продольный разрез дизеля М756:

26 — носок отбора мощности; *27* — шестерня привода стартера; *28* — амортизатор; *29* — подвески; *30* — стяжная шпилька; *31* — штуцер подвода масла к коренному подшипнику коленчатого вала; *32* — трубка подвода масла к шатунной шейке коленчатого вала; *33* — маслоотка чивающий насос; *34* — привод маслоотка чивающего насоса; *35* — вал дополнительного отбора мощности; *36* — автомат предельной частоты вращения; *37* — кронштейн турбокомпрессора; *38* — турбокомпрессор; *39* — выпускной патрубок турбокомпрессора; *40* — впускной патрубок турбокомпрессора; *41* — рессора привода топливного насоса высокого давления; *42* — топливный насос высокого давления; *43* — регулятор частоты вращения; *44* — фильтр топливный

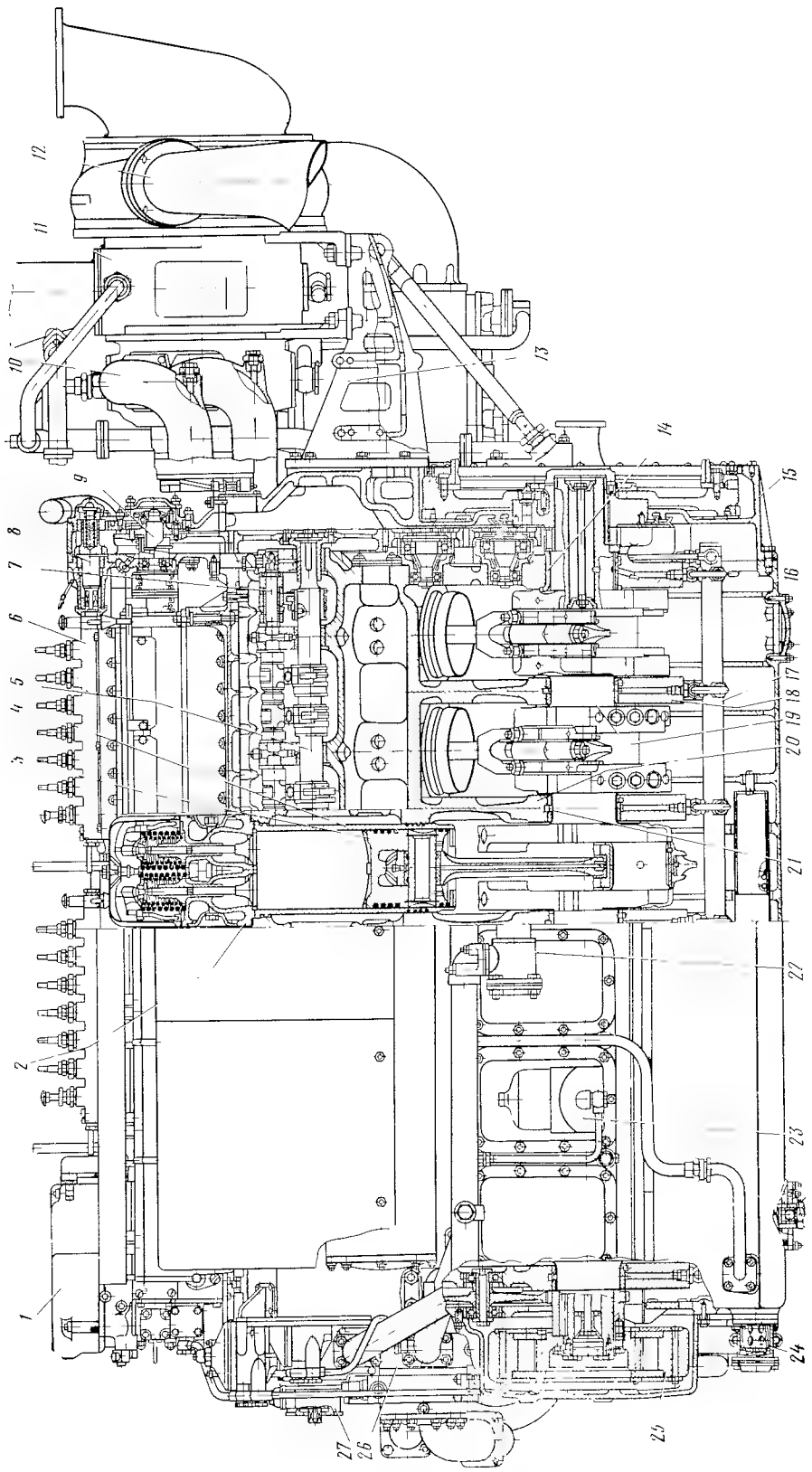


Рис. IV-9. Продольный разрез дизеля 12 VFE 17/24:

1 — регулятор числа оборотов; *2* — цилиндровая крышка; *3* — поршень; *4* — цилиндровая втулка; *5* — распределительный вал; *6* — топливный насос высокого давления; *7* — вал однопоточных рычагов; *8* — механизм для прокручивания коленчатого вала дизеля; *9* — вал привода топливных насосов и регулятора; *10* — выхлопной коллектор; *11* — турбокомпрессор; *12* — нагнетательный патрубок; *13* — кронштейн установки турбокомпрессора; *14* — вкладыш установочного подшипника; *15* — кожух зубчатой передачи и маховика; *16* — корыто картера; *17* — труба для подвода масла к подшипникам; *18* — крышка коренного подшипника; *19* — коленчатый вал; *20* — блок цилиндров; *21* — вкладыш коренного подшипника; *22* — клапан; *23* — центробежный фильтр; *24* — масляный фильтр грубой очистки; *25* — антивибратор; *26* — масляный насос; *27* — механизм для облегчения запуска дизеля

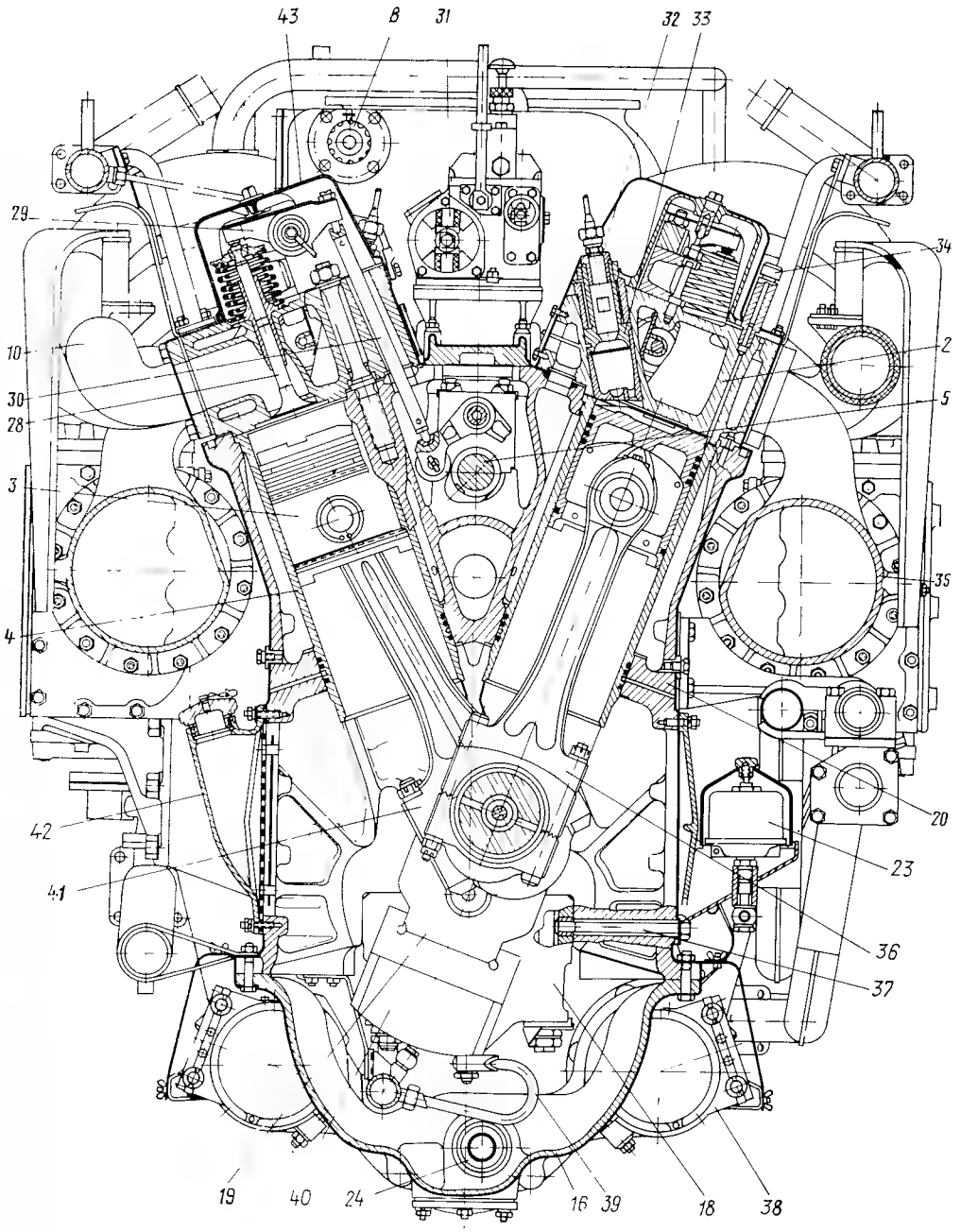


Рис. IV-10. Поперечный разрез дизеля 12 VFE 17/24:

28 — выхлопной клапан; *29* — двуплечий рычаг газораспределения; *30* — штанга толкателя; *31* — вилка привода регулятора и топливного насоса; *32* — форсунка; *33* — державка с форкамерой; *34* — индикаторный кран; *35* — нагнетательный коллектор; *36* — главный шатун; *37* — стяжная шпилька картера; *38* — хомут крепления стартера; *39* — подвод смазки к коренным подшипникам; *40* — противовес коленчатого вала; *41* — вспомогательный шатун; *42* — крышка картера с заливочной горловиной; *43* — колпак цилиндровой крышки

Таблица IV-1

Основные технические данные дизелей тепловозов и дизель-поездов

Показатели	Дизели типов														
	2Д100	10Д100	11Д45	14Д40	2Д70	5Д49 / 2В-5Д49	ПДГ-1М	Д50 / 2Д50	М756А,В / М756Б	М753	K6S310DR	6S310DR	XVIIУ170/240	12VFE17/24	1Д12
Серия тепловоза или дизель-поезда	ТЭ3	2ТЭ10 2ТЭ10Л ТЭП10 ТЭП10Л	ТЭП60 2ТЭП60	М62	2ТЭ116 2ТЭ109 2ТЭ40	2ТЭ116 ТЭ109 ТЭП70	ТЭМ2	ТЭ1 ТЭ2 / ТЭМ1	ТГ16 ТГ102 / Дизель-поезд ДР1	ТГМ3	ЧМЭ3	ЧМЭ2	ВМЭ1	Дизель-поезд Д1	ТУ2
Тип дизеля	Двухтактные						Четырехтактные								
Расположение цилиндров	Вертикальное со встречно движущимися поршнями		V-образное, угол развала 45°		V-образное, угол развала 42°	V-образное, угол развала 45°	Вертикальное		V-образное, угол развала 60°		Вертикальное		V-образное, угол развала 50°	V-образное, угол развала 40°	V-образное, угол развала 60°
Рядность цилиндров	Однорядные		Двухрядные				Однорядные		Двухрядные		Однорядные		Двухрядные		
Номинальная мощность, л. с.	2000	3000	3000	2000	3000	3000 / 4000	1200	1000	820 / 1000	750	1350	750	600	730	300
Частота вращения коленчатого вала, об/мин:															
номинальная	850	850	750	750	1000	1000	750	740	1400 / 1500	1400	750	750	1100	1250	1500
минимальная на холостом ходу	400±10	400±15	400	400	350±20	350±20	300±15	270±15	500	500	350	350	440	530±20	500
Количество цилиндров	10	10	16	12	16	16	6	6	12	12	6	6	16	12	12
Диаметр цилиндра, мм	207	207	230	230	240	260	318	318	180	180	310	310	170	170	150
Ход поршня для цилиндров, мм:															
с главными шатунами	2×254	2×254	300	300	270	260	330	330	200	200	360	360	240	240	180
с прицепными шатунами	—	—	304,3	304,3	276,9	260	—	—	209,8	209,8	—	—	246,5	246,5	186,7
Количество колец на поршень:															
компрессионных	4	4	4	4	3	4	5	5	3	3	4	4	3	3	3
маслосъемных	3	3	2	2	3	2	3	3	2	2	3	3	2	2	2
Рабочий объем всех цилиндров, л.	170,9	170,9	200,75	150,6	197,68	220,8	157,2	157,2	62,4	62,4	163,2	163,2	63,376	63,376	38,8
Степень сжатия	15	15	13,5—14	14,5	12,8	13,4	11—12,5	11—12,5	13,5	13,5	13	15,5	13,5	12,5	14—15
Максимальное давление сгорания, кгс/см²	88	100	112	110	115	110 / 130	70	58	85	85	90	73	58	80	85
Среднее эффективное давление, кгс/см²	6,23	9,35	9,1	8,1	13,8	12,23 / 16,3	9,3	7,75	7,9 / 9,62	7,72	9,95	5,51	5,55	8,04	4,8
Средняя скорость поршня при номинальной частоте вращения, м/с	7,2	7,2	7,5	7,5	9	8,67	8,25	8,15	9,3 / 10	9,3	9	9	8,8	10	9
Порядок работы цилиндров:	1—6—10—2—4—9—5—3—7—8	1—6—10—2—4—9—5—3—7—8	—	—	—	—	1—3—5—6—4—2	1—3—5—6—4—2	—	—	1—3—5 6—4—2	1—3—5 6—4—2	—	—	—
левого ряда	—	—	1—8—4—5—2—7—3—6	1—6—2—4—3—5	1—6—7—4—8—3—2—5	4—2—6—1—5—7—3—8	—	—	1—5—3—6—2—4	1—5—3—6—2—4	—	—	1—5—7—3—8—4 2—6	1—4—2—6—3—5	1—5—3—6—2—4
правого ряда	—	—	1—8—4—5—2—7—3—6	1—6—2—4—3—5	8—3—2—5—1—6—7—4	1—5—7—3—8—4—2—6	—	—	6—2—4—1—5—3	6—2—4—1—5—3	—	—	8—4—2—6—1—5 7—3	1—4—2—6—3—5	6—2—4—10—5—3
Давление наддува, кгс/см²	0,28—0,35	1,05—1,3	1,0—1,2	0,8—1,1	1,45—1,55	1,35+0,15 / 1,85±0,2	0,55—0,6	0,22—0,34	0,4—0,5 / 0,55—0,65	0,2	0,6	—	—	0,9±0,15	—
Угол опережения подачи топлива, град.	16±1	10±1	20±1	20±1	21+1	20	29±1,5	29±1,5	27±1	28±1	26	28	21+1,5	21±1,5	25±1
Температура отработавших газов по цилиндрам на режиме номинальной мощности, не более, °С	420	430	470	470	550	580 / 630	470	470	460	460	480	520	490	550	480

Продолжение табл. IV-1

Показатели	Дизели типов														
	2Д100	10Д100	11Д45	14Д40	2Д70	5Д49 / 2В-5Д49	ПДГ-1М	Д50 / 2Д50	М756А,В / М756Б	М753	K6S310DR	6S310DR	XVIIУ170/240	12VFE17/24	1Д12
Удельный расход на номинальной мощности, г/э. л. с. ч: топлива	176	160±5%	170±5%	160±5%	150±5%	150±5% / 157±5%	165+5%	182	155+5% / 160+5%	180	162+5%	165+5%	175—192	168+8%	180—200
масла	4	3	3	4,5	3,5	2,8	4	6	4	4	4	3	3	3	8
Максимально допустимая температура на выходе из дизеля, °С: воды	90	92	95	90	96	95	88	85	105	95	85	85	85	95	95
масла	83	80	70+2	70+2	86	85	80	80	100	95	95	95	95	95	95
Давление масла в магистрали при номинальной частоте вращения коленчатого вала, не менее, кгс/см²	1,6—3,5	1,8—3,5	5,5—6,5	3—5	3,0	3,8	1,5—3,5	1,5—3,5	3—9	3—9	4,5—6	3—3,5	3—6	3—6	6—9
Габаритные размеры дизель-генератора, мм: длина	6815	6705	6444	5607	6465	6187 / 6213	5257	5069	2420	2270	5125	4750	4910	3210	1852
ширина	1730	2610	1950	1818	1930	2090 / 1932	1585	1467	1220	1210	1850	1530	1512	1300	1085
высота	3350	3265	2600	2508	2960	2972	2479	2478	1480	1200	2844	3020	1626	1710	1275
Удельная масса дизеля, кг/л. с.	9,7	6,5	4,59	6,25	5,8	5,34 / 4,0	14,3	17,2	2,2 / 1,8	2,2	9,98	14	9,0	6,3	6,15
Масса сухого дизель-генератора со всем находящимся на нем оборудованием, кг	27 000±1,5%	28 000±±3%	23 400	21 400	26 000	24 500+2% / 26 000++2%	22 500±±5%	21 700	1800	1600	18 120	16 060	9500	4600	1840
Масса генератора, кг	7600	9350	9650	7400	7075	7075	4800	4500	—	—	4650	4930	3 750	—	—
Привод управления частотой вращения дизеля*	Электропневматический						Электропневматический				Электродвигательный		Электропневматический		
Число ступеней	16	15	15	15	15	15	8	8	16	16	8	9	7	5	8
	Система подачи топлива														
Топливоподкачивающий насос: тип	Шестеренчатый						Шестеренчатый						Центробежный	Шестеренчатый	Коловратный
привод	От электродвигателя						От электродвигателя				От дизеля		От электродвигателя		От дизеля
Производительность, л/мин.	27	27	27	27	27	27	27	12,5 / 27	27	27	42	42	—	4,5	1,8
при: частоте вращения, об/мин	1350	1350	1450	1450	1350	1350	1450	1740 / 1450	1450	1450	1100	1100	—	1710	1400
давлении топлива, кгс/см²	1,5—2,5	3,5	1,5—2,5	3,5	3,5	3,5 / 1,5—2,5	1,5—2,5	1,8—2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	—	0,7	0,6—0,8
Фильтры очистки топлива: грубой	Сетчато-набивной	Сетчатый					Сетчатый	Сетчато-набивной	Сетчатый		Бумажный		Шелковое полотно	—	Сетчато-набивной
тонкой	Бумажный						Войлочный или бумажный						Сетчатый	Бумажный	Войлочный
Количество топливных насосов на дизель	20 (по 2 на каждый цилиндр)		1	1	16	16	6	6	1	1	6	6	2	2	1

Показатели	Дизели типов														
	2Д100	10Д100	11Д45	14Д40	2Д70	5Д49 / 2В-5Д49	ПДГ-1М	Д50 / 2Д50	М756А, В / М756Б	М753	K6S310DR	6S310DR	XVIIУ170/240	12VFE17/24	1Д12
Отношение частоты вращения кулачкового вала насоса к частоте вращения коленчатого вала	1:1	1:1	1:1	1:1	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2
Диаметр плунжера, мм	13	13	17	17	16	17	20	20	13	13	20	20	14	14	10
Ход плунжера, мм	15,9	15,9	16	16	22	22	20	20	12	12	20	20	$2,45^{+0,05}$	$2,45^{+0,05}$	10
Форсунка															
Количество на дизель	20	20	16	12	16	16	6	6	12	12	6	6	16	12	12
Давление начала впрыска, кгс/см²	210^{+5}	210^{+5}	320^{+5}	310—320	280^{+5}	320^{+5}	275+5	275+5	200±3	200±3	300—10	270±10	340—360	340^{+15}_{-5}	210±3
Число отверстий в распылителе	3	3	7	7	8	9	9	9	8	8	8	9	1	1	7
Диаметр отверстий в распылителе, мм	$0,56^{+0,02}$	$0,56^{+0,02}$	$0,4^{+0,01}$	$0,4^{+0,01}$	$0,4^{+0,02}$	$0,4^{+0,01}$	$0,35^{+0,02}$	$0,35^{+0,02}$	0,35	0,35	0,40	0,35	1,23	1,45	0,25
	Система смазки														
Насосы масляные															
Нагнетающий: тип	Шестеренчатый					Винтовой	Шестеренчатый								
производительность не менее, л/мин	2000	2000	1330	930	1250	1250 / 1665	400	267/300	120	120	822	400	330	220	75
при: частоте вращения, об/мин	1510	1510	2130	2130	1562	1000	1680	1970/1680	3000	3000	1400	1100	1028	2500	2930
давлении на выходе, кгс/см²	5	5	5,5—6,5	8	6	3,8 / 4,0	3,5	3,5	8	8	5—6	3—3,5	4,7	5	6—9
температуре масла, °С	70—80	70—80	70	70	70—80	70—80	65—75	65—75	70—80	70—80	75—85	75—85	60—70	70	75
Откачивающий: тип	—	—	—	—	Шестеренчатый	—	—	—	Шестеренчатый		—	—	—	Шестеренчатый	
производительность, не менее, л/мин	—	—	—	—	1585	—	—	—	250	250	—	—	—	250	150
при: частоте вращения об/мин	—	—	—	—	1562	—	—	—	3200	3200	—	—	—	2500	2930
давлении на выходе, кгс/см²	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—
температуре масла, °С	—	—	—	—	70—80	—	—	—	70—80	70—80	—	—	—	70	70
Прокачивающий: тип	Шестеренчатый с приводом от электродвигателя													Шестеренчатый с приводом от электродвигателя	Поршневой двустороннего действия, ручной
производительность, не менее, л/мин	200	200	200	200	200	166,6	27	— (27ТЭМ1)	27	27	70	70	—	45	2,5 за 100 ходов
при: частоте вращения, об/мин	2200	2200	2200	2200	2200	2200	1450	— / 1350 (ТЭМ1)	1350	1350	1400	1400	—	2800	—
давлении на выходе, кгс/см²	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	— / 2,5	2,5	2,5	2	2	—	2	—
температуре масла, °С	70—80	70—80	70—80	70—80	70—80	70—80	70—80	— / 70—80	70—80	70—80	70—80	70—80	—	70—80	50—60
Насос центробежного фильтра: производительность, не менее, л/мин	200	150	—	—	166,6	—	50	—	—	—	—	—	—	—	—

Показатели	Дизели типов														
	2Д100	10Д100	11Д45	14Д40	2Д70	5Д49 / 2В-5Д49	ПДГ-1М	Д50 / 2Д50	М756А, В / М756Б	М753	К6S310DR	6S310DR	XVIIУ170/240	12VFE17/24	1Д12
при:															
частоте вращения, об/мин	2060	1700	—	—	3300	—	1740	—	—	—	—	—	—	—	—
давлении на выходе, кгс/см²	8	8	—	—	8	—	6,5—8	—	—	—	—	—	—	—	—
температуре масла, °С	75	75	—	—	70—80	—	75	—	—	—	—	—	—	—	—
Фильтры очистки масла:															
грубой	Пластинчато-щелевой		Сетчатый				Пластинчато-щелевой		—	—	Пластинчато-щелевой		Сетчатый		Проволочно-щелевой
тонкой	Бумажный центробежный		Центробежный		Центробежный бумажный		Сетчатый набивной, хлопчатобумажная пряжа, центробежный		Сетчатый центробежный		Бумажный центробежный	Войлочный центробежный	Сетчатый магнитный	Сетчатый щелевой центробежный	Бумажный (картонные пластины)
Воздухоснабжение															
Система наддува и привод воздухонагнетателей	Одноступенчатая с механическим приводом	Двухступенчатая с газотурбинным приводом ступени I и механическим приводом ступени II			Одноступенчатая приво		с газотурбинным дом			Одноступенчатая с механическим приводом	Одноступенчатая с газотурбинным приводом	—	—	Одноступенчатая с газотурбинным приводом	—
Тип воздухонагнетателя	Воздуходувка объемного типа (ротативная) с механическим приводом от дизеля	Два турбокомпрессора (I ступень) ТК-34Н-04С и центробежный нагнетатель (II ступень) с приводом от от дизеля	Два турбокомпрессора (I ступень) 4ТК и 4ТКЛ и центробежный нагнетатель (II ступень) с приводом от дизеля	Два турбокомпрессора (I ступень) 8ТК и 8ТКЛ и объемный нагнетатель (II ступень) с приводом от дизеля	Турбокомпрессор ТК-38В-43	Турбокомпрессор 6ТК	Турбокомпрессор ТК30С	Турбовоздуходувка Д50-37-1сб	Турбокомпрессор ТКР-23-1	Центробежный нагнетатель с приводом от дизеля	Турбокомпрессор UBZ KG РДН50	—	—	Турбокомпрессор ПДХ35-В-Д2-ЦЧ	—
Производительность турбокомпрессора при номинальной частоте вращения вала дизеля, кг/с	—	2×2,8	2×2,85	2×1,8	4,4	3,9—4,2 / 5,6—5,8	2,1	1,9	1,35	—	2,35	—	—	—	—
Частота вращения ротора турбокомпрессора, об/мин:															
номинальная	—	17 000	17 500	17 000	17 800	21 000 / 22 000	18 200	10 300	17 000 / 22 000	—	17 500	—	—	20 000	—
максимальная	—	18 700	18 000	18 000	20 000	22 000 / 23 000	20 000	13 500	18 500 / 24 000	—	18 800	—	—	23 500	—
Частота вращения роторов приводных воздухонагнетателей при номинальной частоте вращения вала дизеля, об/мин	1700	8500	7350	2875	—	—	—	—	—	15 000	—	—	—	—	—

Показатели	Дизели типов														
	2Д100	10Д100	11Д45	14Д40	2Д70	5Д49 / 2В-5Д49	ПДГ-1М	Д50 / 2Д50	М756А, В / М756Б	М753	K6S310DR	6S310DR	XVIIУ170/240	12VFE17/24	1Д12
Производительность приводного воздухонагнетателя при номинальной частоте вращения вала дизеля, кг/с	3,88	6,4	5,6	3,6—3,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Система охлаждения															
Тип	Водяная принудительная														
Тепловыделение дизеля при номинальном режиме															
Тепло, отводимое в воду охлаждения дизеля (основная система), ккал/ч	$58\cdot10^4$	$82\cdot10^4$	$84\cdot10^4$	$60\cdot10^4$	$61\cdot10^4$	$56\cdot10^4$ / $100\cdot10^4$	$36{,}7\cdot10^4$	$35\cdot10^4$	$38\cdot10^4$ / $40\cdot10^4$	$35\cdot10^4$	$33\cdot10^4$	$30\cdot10^4$	$26\cdot10^4$	$34\cdot10^4$	$20{,}5\cdot10^4$
Тепло, отводимое маслом, ккал/ч	$33\cdot10^4$	$51\cdot10^4$	$37\cdot10^4$	$34\cdot10^4$	$17\cdot10^4$	$30\cdot10^4$ / $40\cdot10^4$	$6{,}5\cdot10^4$	$6\cdot10^4$	$3{,}5\cdot10^4$ / $3{,}8\cdot10^4$	$3{,}6\cdot10^4$	$11{,}0\cdot10^4$	$4{,}5\cdot10^4$	$5{,}1\cdot10^4$	$5{,}5\cdot10^4$	$2{,}7\cdot10^4$
Тепло, отводимое в воду охлаждения наддувочного воздуха, ккал/ч	—	$32\cdot10^4$	$21\cdot10^4$	—	$36\cdot10^4$	$30\cdot10^4$ / $50\cdot10^4$	$4{,}12\cdot10^4$	—	—	—	$5{,}5\cdot10^4$	—	—	$3{,}7\cdot10^4$	—
Суммарный теплоотвод, ккал/ч	$91\cdot10^4$	$165\cdot10^4$	$142\cdot10^4$	$94\cdot10^4$	$114\cdot10^4$	$116\cdot10^4$ / $190\cdot10^4$	$47{,}32\cdot10^4$	$41\cdot10^4$	$41{,}5\cdot10^4$ / $43{,}8\cdot10^4$	$38{,}6\cdot10^4$	$49{,}5\cdot10^4$	$34{,}5\cdot10^4$	$31{,}1\cdot10^4$	$43{,}2\cdot10^4$	$23{,}2\cdot10^4$
Водяные насосы															
Охлаждения дизеля:															
тип	Центробежный														
производительность, $м^3/ч$	102	150	100	80	100	100 / 80	90	80 / 90	45	45	133,2	57,5	68,8	57,5	30
при частоте вращения, об/мин	1965	2060	3330	2875	2345	3000	1800	1800	3400	3400	2080	1800	2985	3525	2250
Охлаждения масла и наддувочного воздуха:															
тип	Центробежный											—	—	—	—
производительность, $м^3/ч$	—	100	100	80	100	100	20	—	—	—	32	—	—	—	—
при частоте вращения, об/мин	—	1965	3330	2875	2345	3000	2900	—	—	—	2200	—	—	—	—
Охладители наддувочного воздуха:															
тип	—	Воздушный		—	Водовоздушный		—	—	—	—	Водовоздушный	—	—	Водовоздушный	—
количество на дизель	—	2	1	—	2	1	1	—	—	—	1	—	—	2	—
количество охлаждающей воды, проходящей через один воздухоохладитель, $м^3/ч$	—	50	100	—	50	100	20	—	—	—	32	—	—	—	—
Поверхность, охлаждаемая водой, $м^2$	—	6	4,6	—	4,5	4,6	5	—	—	—	2,5	—	—	—	—
Холодильник															
Наружная поверхность охлаждения:															
водяных секций для охлаждения воды дизеля, $м^2$	504	590/547*2	504	442,8	442	442	336	409 / 378	—	357	330*3	302*3	350	408*3	106
водяных секций для охлаждения воды воздухоохладителя, $м^2$	—	354/—*2	210	—	—	—	126	—	—	—	165	—	—	—	—
водяных секций охлаждения масла в теплообменнике дизеля, $м^2$	—	—	483	442,8	—	—	—	—	—	—	—	—	350	—	—

Показатели	Дизели типов																
	2Д100	10Д100	11Д45	14Д40	2Д70	5Д49 / 2В-5Д49	ПДГ-1М	Д50 / 2Д50	М756А,В / М756Б	М753	K6S310DR	6S310DR	XVIIУ170/240	12VFE17/24	1Д12
водяных секций охлаждения масла в теплообменнике и воды охладителя наддувочного воздуха, м²	—	—/508	693	—	680	680	—	—	—	—	—	—	—	—	—
масляных секций охлаждения масла, м²	694	361,8/—	—	—	—	—	115,8	115,8	—	57,6	—	—	—	—	13,5
водомасляного теплообменника по воде, м²	—	—/48	35,2	35,2	—	—	—	—	—	—	12,8	7,6	—	3,5	—
то же по маслу, м²	—	—/60	44	44	19,7	—	—	—	—	—	16,2	12,0	8,52	44	—
Количество секций, шт.:															
водяных для охлаждения воды дизеля	24	20/25+13*5	24	15	15	15	16	20/18	21/3	17	16*3	16*3	16	—	2
водяных для охлаждения воды воздухоохладителя	—	12/—	—	—	—	—	6	—	—	—	8	—	—	—	—
водяных для охлаждения масла в теплообменнике	—	—	—	15	—	—	—	—	5/6	—	—	—	16	—	—
водяных секций охлаждения масла в теплообменнике и воды охладителя наддувочного воздуха	—	—/25	33	—	23	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—
масляных	36	36/—	—	—	—	—	6	6	—	3	—	—	—	—	3
то же с турбулизацией потока	—	36/—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Количество теплообменников	—	0/1	1	1	2	1	—	—	2/1	—	1	1	2	1	—
	Защита дизеля														
Автоматическая остановка дизеля: при:															
понижении давления масла в магистрали ниже, кгс/см²	0,5	0,5—0,6	1,4	1,6	0,4	0,6—0,8	1,5+0,1	1,5	1,5	1,5	1	1	0,5+0,2	0,5+0,2	2,5
повышении давления в картере более, мм вод. ст.	30—35	30—35	10	25—30	60	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
увеличении частоты вращения коленчатого вала дизеля выше, об/мин	940—980	940—980	840—870	840—870	1080—1120	1180+20+30	840—870	840—870	1875—2000	1800—2000	820—840	820—840	1400—1460	1430—1460	1800—2000
Автоматическое снятие нагрузки при:															
повышении температуры охлаждающей воды на выходе из дизеля выше, °С	90	92—95	95	92—95	96	95—96	88	—	—	—	—	93*6	95	95	—
повышении температуры масла на входе в дизель выше, °С	—	85	72—75	72—75	86	85—88	80*6	—	—	—	—	—	—	—	—
падении давления масла ниже, кгс/см²	1	1—1,1	2	2,2	3	2,8—3,0	—	—	—	—	2,0	—	—	—	—
в диапазоне позиции контроллера	9—16	12—15	12—15	12—15	12—15	12—15	—	—	—	—	5—8	—	—	—	—
Автоматическая блокировка пуска	Не позволяет произвести пуск дизеля при включенном валоповоротном механизме														

* Дистанционный, косвенный со ступенчатым изменением скоростных режимов.
*2 Для тепловозов с водомасляным теплообменником.
*3 Для охлаждения воды дизеля и масла в теплообменнике.
*4 Для охлаждения воды дизеля, масла в теплообменнике и воды воздухоохладителя.
*5 25 — для секций длиной 1206 мм, 13 — для секций длиной 535 мм.
*6 Включается сигнализация.

Таблица IV-2

Масса основных узлов и деталей дизеля и его систем

Наименование узлов и деталей	Масса основных узлов и деталей, кг, дизелей														
	2Д100	10Д100	11Д45	14Д40	2Д70	5Д49	ПДГ-1М	Д50, 2Д50	М756А,В / М756Б	М753	К6S310DR	6S310DR	KXVIIV170/240	12VFE17/24	1Д12
Блок цилиндров	5600	5778	3000	2540	4150	4330	2980	2980	2×163	2×163	3384	2270	950	950	219
Турбокомпрессор	—	370	306	305	565	500	460	950	100	—	—	—	—	—	—
Воздухонагнетатель	1080	545	422	—	—	—	—	—	—	49	—	—	—	—	—
Коленчатый вал	1035/1072*	1035/1072*	1000	793	1140	1325	1780	1780	156	156	1796	1100	366	366	187,5
Гильза цилиндра	115,06	115,06	58,6	58,6	98	—	118	118	9,75	9,75	95	95	—	—	6,4
Поршень в сборе	—	—	47	47	24	36,5	—	—	4,5	4,5	59	57	5,0	5,0	2,4
Шатун главный	—	—	39,3	39,3	68,5	—	—	—	8,3	8,3	105	106	13,9	13,9	3,9
» прицепной	—	—	13,2	13,2	19,8	—	—	—	2,95	2,95	—	—	10,6	10,6	2,0
Поршень с шатуном	78	63,23	—	—	—	—	160	160	—	—	—	—	—	—	—
Крышка цилиндра	—	—	96	96	126	111	192	192	—	—	235	235	65	65	36,8
Топливный насос	—	—	214,3	156,7	—	—	—	—	41	41	—	—	—	—	37
Масляный насос (главный)	111	111	90	53,7	77	—	40	32	15	15	54,6	54,6	—	—	5,2
Водяной насос	98	98	50	56,7	81	—	85	85	6,5	6,5	33	21,6	—	—	8,5
Охладитель наддувочного воздуха	—	200	337	—	397	322,8	—	—	—	—	186,2	—	—	—	—
Водомасляный теплообменник	—	725	596	—	308	—	—	—	425/190	—	390	303	220	200	—
Топливоподогреватель	—	70	115	—	70	70	—	—	—	62	—	—	—	—	46

* В числителе—верхнего коленчатого вала, в знаменателе—нижнего.

V. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОВОЗОВ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ

V-1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОПЕРЕДАЧ, ИХ ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Гидравлические передачи делят на два вида: гидростатические (объемные), которые применяют только для привода вспомогательных механизмов тепловоза, и гидродинамические (табл. V-1), нашедшие применение как для привода вспомогательных механизмов, так и для привода тепловоза. Гидродинамические трансформаторы и муфты являются основными агрегатами гидравлической передачи.

К гидропередачам предъявляют следующие требования.

Ступени скоростей должны переключаться автоматически в зависимости от скорости движения тепловоза и от частоты вращения вала дизеля. При переключении скоростей и работе тепловоза по внешней характеристике сила тяги не должна снижаться более чем на 40%.

Все вращающиеся части гидропередачи должны быть обеспечены принудительной смазкой при движении тепловоза, в том числе и в «холодном» состоянии. Нормальная и безаварийная эксплуатация гидравлических передач должна быть обеспечена при температурах от —50 до +40° С.

В качестве рабочей жидкости в гидравлических передачах должны применяться масла плотностью не менее 860 кг м³, вязкостью не более 3 ВУ° при 50° С с температурой вспышки не менее 160° С. В тепловозных гидропередачах разрешается применять масла: турбинное 22 и ГТ50.

Прекращение связи между дизелем и колесами с момента выключения передачи должно обеспечиваться не более чем за 2 с. Остаточный момент не должен превышать 0,2% номинального.

Время реверсирования передачи, исчисляемое с момента мгновенного уменьшения нагрузки двигателей при заторможенном тепловозе, не должно превышать 2 с. Диапазон скоростей, т. е. отношение скорости на горизонтальном участке пути к скорости на руководящем подъеме, для магистральных тепловозов должен составлять 5, а для маневровых — 10—12.

Гидротрансформатор и гидромуфта в отдельности не могут обеспечить необходимый диапазон скоростей и к. п. д. Поэтому гидропередачи тепловозов выполняют с несколькими гидротрансформаторами, с гидротрансформаторами и гидромуфтами, с

Таблица V-I

Основные технические данные гидродинамических передач

Показатели	Передачи тепловозов и дизель-поездов					Передачи автомотрис ГМ2
	ГД3	ГД6	ГД12	ГД20	ГД30	
Номинальная передаваемая мощность, л. с.	200—350	400—650	800—1200	1500—2100	2400—3000	200—250
Коэффициент мощности, не менее	0,75			0,77		0,77
Отношение рабочих скоростей на горизонтальном участке и на руководящем подъеме, не менее	5,0			3,5		5,0
Масса на единицу номинальной мощности*, кг/л. с., не более	5,0	4,5	3,0	2,5		3,5

* Масса на единицу номинальной мощности дана без режимного переключения и раздаточной трансмиссии и определен по максимальному значению мощности данной градации.

гидротрансформатором или гидромуфтой с механической коробкой скоростей.

Гидропередачи могут быть однопоточными, двухпоточными и смешанными.

Однопоточными гидропередачами, которые в основном и применяются на тепловозах, называют гидравлические передачи, в которых весь поток мощности дизеля проходит через гидротрансформатор или гидромуфту (по одному потоку). В однопоточных тепловозных гидропередачах поток мощности от ведущего вала к ведомому может проходить через различное количество последовательно включенных в работу гидравлических аппаратов:

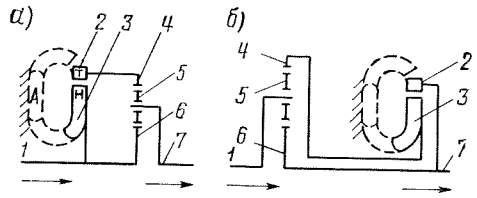


Рис. V-1. Схемы двухпоточных гидромеханических передач с суммирующим (*а*) и разделительным (*б*) планетарными рядами:

1 — ведущий вал; *2* — турбинное колесо; *3* — насосное колесо; *4* — коронная шестерня; *5* — сателлит; *6* — солнечная шестерня; *7* — выходной вал

два гидротрансформатора (гидропередачи дизель-поездов ДР1, ДР2 и тепловозов ТГМ3Б и ТГ16); три гидротрансформатора (гидропередача тепловоза ТГП50);

гидротрансформатор и две гидромуфты (гидропередача тепловоза ТГМ1); два гидротрансформатора и одна гидромуфта (унифицированная гидропередача тепловозов ТГМ3А, ТГМ5, ТГМ6, ТГ102); гидротрансформатор с механической коробкой скоростей (гидропередача тепловозов ТГМ3, ТГК2).

Двухпоточными (гидромеханическими) гидропередачами называют передачи, в которых одна часть мощности ведущего вала передается на ведомый вал гидравлическим путем, а другая часть — механическим.

Двухпоточные гидропередачи бывают с суммирующим планетарным рядом (рис. V-1, *а*), установленным за гидравлическим агрегатом, или с разделительным планетарным рядом (рис. V-1, *б*), расположенным перед гидравлическим агрегатом.

Смешанными называются передачи, в которых при разгоне и небольших скоростях энергию передают гидравлическим путем (через гидромуфту или гидротрансформатор), а при больших скоростях — через механическую передачу с рядом скоростей. Смешанные передачи выполняются на мощности 150—750 л. с. (дизель-поезд Д1).

V-2. КОНСТРУКЦИЯ ГИДРОПЕРЕДАЧ

Унифицированная гидропередача тепловоза при мощности 750—1200 л. с. состоит из двух гидротрансформаторов и одной гидромуфты (рис. V-2).

В табл. V-2 указаны соединения зубчатых колес для различных режимов работы, а в табл. V-3 — шестерен. Корпус гидропередачи (рис. V-3) сварной. Гидропередача выполняется на различные мощности. В табл. V-4 указаны некоторые габаритные размеры корпуса гидропередачи в зависимости от ее назначения.

На главном валу гидропередачи расположены первый гидротрансформатор *ГТРI* (рис. V-4), второй гидротрансформатор *ГТРII* и гидромуфта *ГМ*.

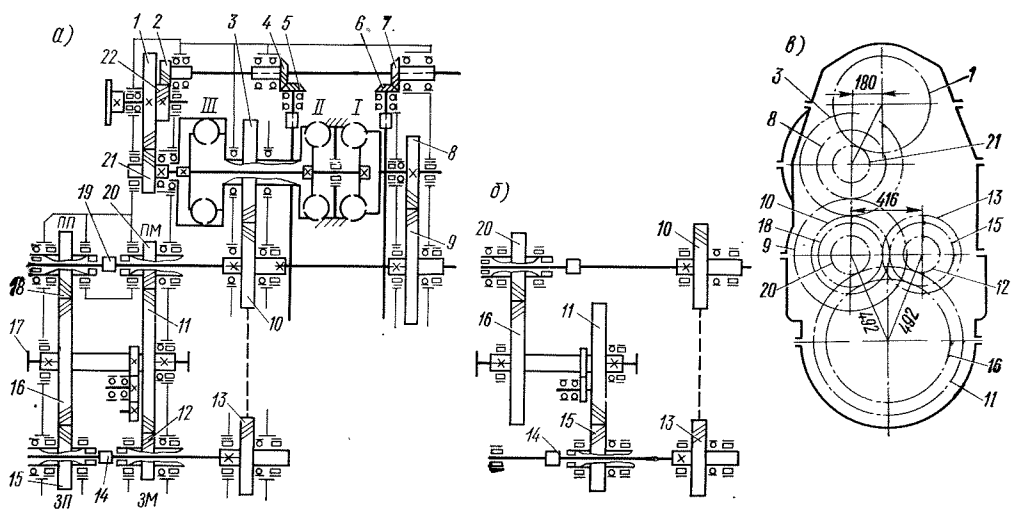


Рис. V-2. Кинематические схемы унифицированных гидропередач с режимной коробкой для маневровых тепловозов (*а*), без режимной коробки для магистральных тепловозов (*б*) и схема соединения шестерен (*в*):

I — пусковой гидротрансформатор; *II* — маршевый гидротрансформатор; *III* — гидромуфта; *1—13*; *15, 16, 18, 20—22* — шестерни; *14, 19* — шлицевые муфты реверса режимной коробки; *17* — раздаточный вал; *ПП* — передний ход, поездной режим; *ПМ* — передний ход, маневровый режим; *ЗП* — задний ход, поездной режим; *ЗМ* — задний ход, маневровый режим

Таблица V-2

Соединение зубчатых колес унифицированной гидропередачи (см. рис. V-2)

Режим	Ход	№ зубчатого колеса, соединенного с муфтой		№ зубчатых колес при работе на		
		19	*14*	гидротрансформаторе *I*	гидротрансформаторе *II*	гидромуфте
Маневровый	Передний	*20*	—	*1, 21, 8, 9, 20, 11, 17*	*1, 21, 3, 10, 20, 11, 17*	*1, 21, 3, 10, 20, 11, 17*
	Задний	—	*12*	*1, 21, 8, 9, 10, 13, 12, 11, 17*	*1, 21, 3, 10, 13, 12, 11, 17*	*1, 21, 3, 10, 13, 12, 11, 17*
Поездной	Передний	*18*	—	*1, 21, 8, 9*	*1, 21, 3, 10, 18, 16, 17*	*1, 21, 3, 10, 18, 16, 17*
	Задний	—	*15*	*1, 21, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 17*	*1, 21, 3, 10, 13, 15, 16, 17*	*1, 21, 3, 10, 13, 15, 16, 17*

Примечание. Привод откачивающего насоса — *1, 22, 2, 4, 5*. Привод питательного насоса — *1, 22, 2, 7, 6*.

Таблица V-3

Параметры шестерен унифицированной гидропередачи (см. рис. V-2)

Показатели	Шестерни тепловозов		
	маневровых		магистральных
Мощность дизеля, л. с.	1200	750	2×1000
Скорость, км/ч	38,6/79	36,74	120
Передаточные отношения:			
повышающей передачи	0,367	0,822	0,882
от шестерни *8* до *17*, обеспечивающие маневровый режим	5,05	5,05	—
то же, обеспечивающие поездной режим	2,46	2,46	2,08
от шестерни *3* до вала *17*, обеспечивающие маневровый режим	2,40	2,40	—
то же, обеспечивающие поездной режим	1,17	1,17	0,99
Число зубьев шестерен:			
1	60	45	45
21	22	37	37
8	35	35	35
9	58	58	58
3	52	52	52
10 и *13*	41	41	41
20	24	24	43
12	24	24	—
11	73	73	54
18	39	39	—
15	39	39	43
16	58	58	54
22	72	53	54
2	40	57	58
4 и *7*	34	34	34
5 и *6*	15	15	15

Гидротрансформаторы одинаковой конструкции. Насосные колеса *16* и *29* ранее сваривали с цилиндрическими лопатками. В последнее время эти колеса отливают вместе с пространственными лопатками.

Лопатки турбинных колес *19* и *28* фрезеруют и крепят к стальным дискам *18* и *30*. Направляющий аппарат имеет два ряда лопаток: осевые *22* и радиальные *29*, которые укреплены на неподвижном корпусе.

Колеса гидромуфты с плоскими радиальными лопатками в настоящее время изготовляют литыми (раньше колеса были сварные).

Переключение режимов работы тепловоза осуществляется с помощью подвижной муфты *8* (рис. V-5), передвигаемой валиком *2*. При сцеплении муфты *6* с шестерней *4* осуществляется передний ход поездного режима, а при сцеплении с шес-

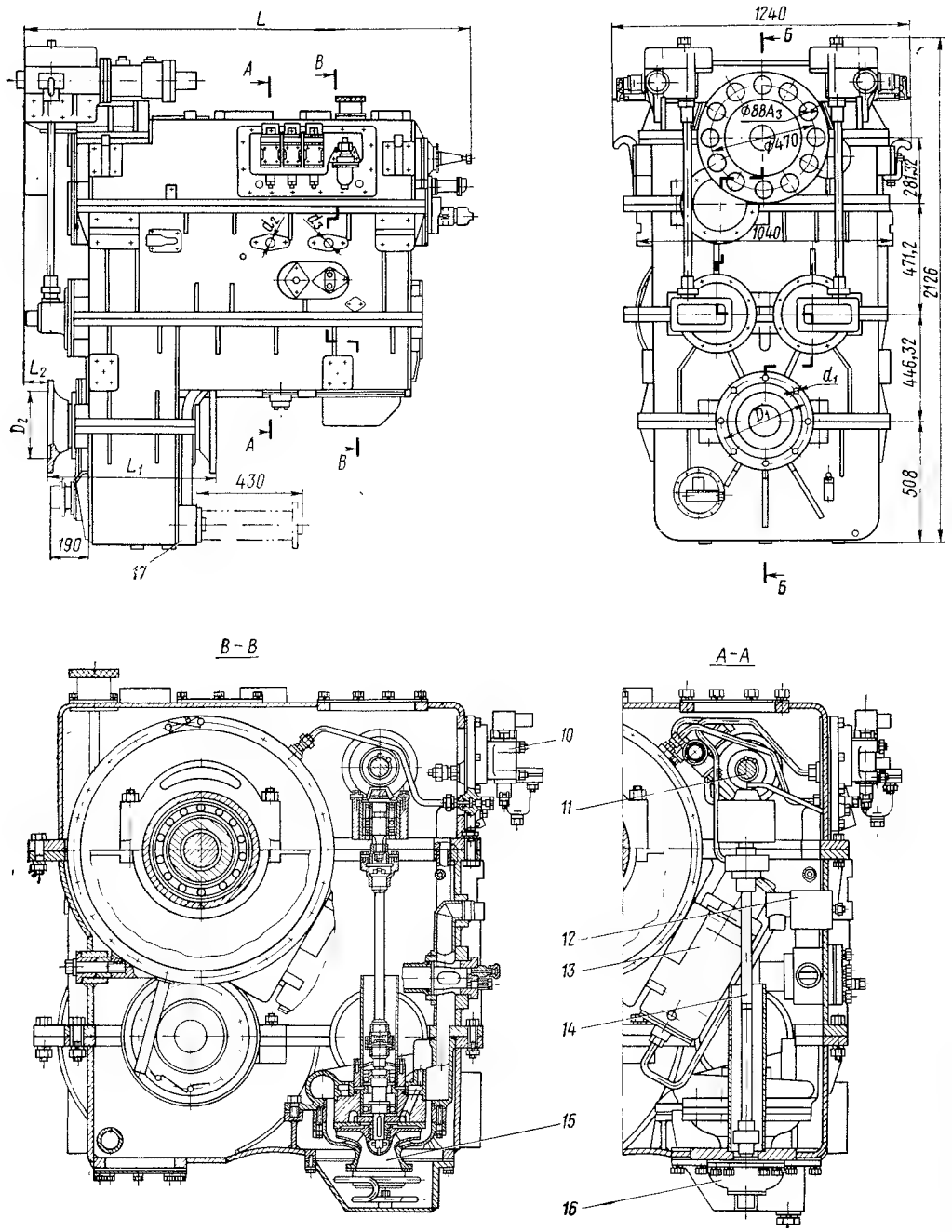


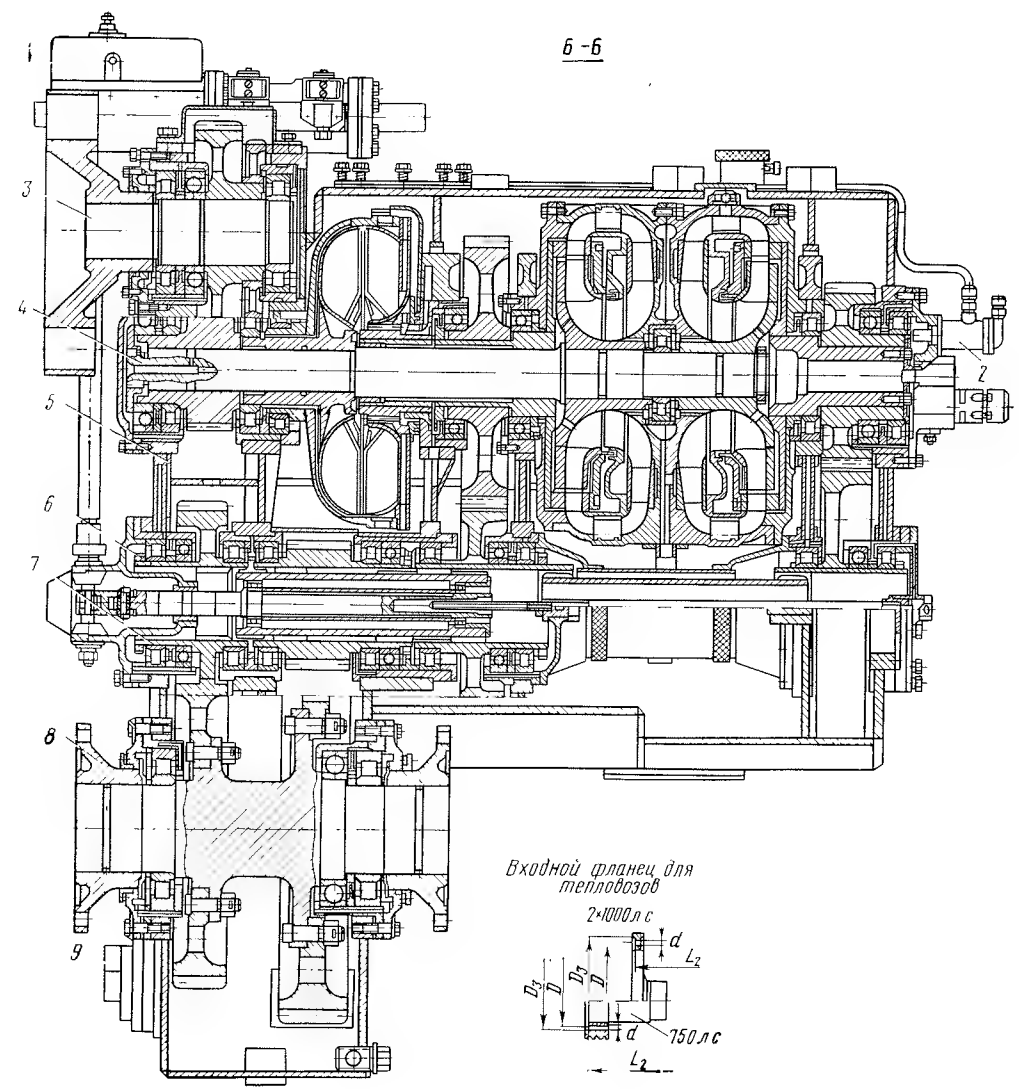
Рис. V-3. Унифицирован

1 — привод реверса и режимов; *2* — привод датчика скорости; *3* — вал приводной; *4* — вал главный; системы смазки; *10* — установка фильтра масляного и электрогидравлических вентилей; *11* — вал насос питательный; *16* — насос откачивающий;

Таблица V-4

Габаритные размеры (мм) унифицированной гидропередачи (см. рис. V-3)

Тепловозы	L	L_1	L_2	D	d	D_1	d_1	D_2	D_3	$d_2=d_3$
Маневровый, 1200 л. с	1870	706	101	—	—	360	25	300	—	50
То же, 750 л. с.	1975	646	234	200	16	293	17	315	230	50
Магистральный, 2×1000 л. с.	1790	644	53	490	16	278	17	215	530	50



ная гидропередача:

5 — корпус гидропередачи; *6* — вал вторичный; *7* — вал реверса; *8* — вал раздаточный; *9* — насос отбора мощности; *12* — клапан подпорный; *13* — коробка золотниковая; *14* — привод насосов; *15* — *17* — фильтр откачивающего насоса

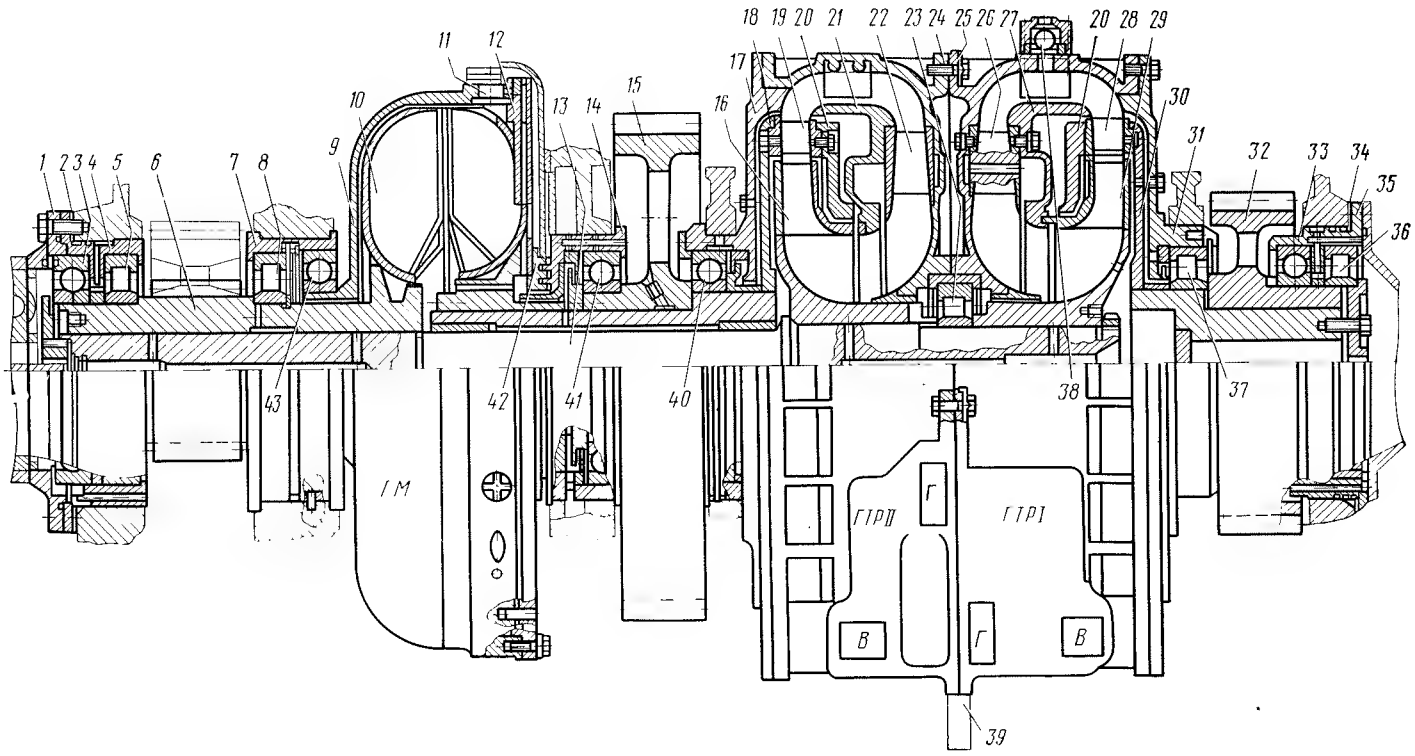


Рис. V-4. Главный вал унифицированной гидропередачи:

1 — крышка; *2, 34* — регулировочные прокладки; *3, 33, 40,41, 43* — шариковые подшипники; *4, 7, 14, 35* — стаканы; *8, 23, 36, 37* — роликовые подшипники; *6, 15, 32* — шестерни; *9* — корпус гидромуфты; *10* — насосное колесо гидромуфты; *11* — клапан гидромуфты; *12* — турбинное колесо гидромуфты; *13* — вал; *16, 29* — насосные колеса гидротрансформаторов; *17, 31* — крышки гидротрансформаторов; *18, 30* — стальные диски; *19, 28* — турбинные колеса гидротрансформаторов; *20, 42* — уплотнения; *21, 27* — торы; *22, 26* — направляющие аппараты; *24, 25* — корпуса гидротрансформаторов; *38* — шариковый воздушный клапан; *39* — сливной патрубок

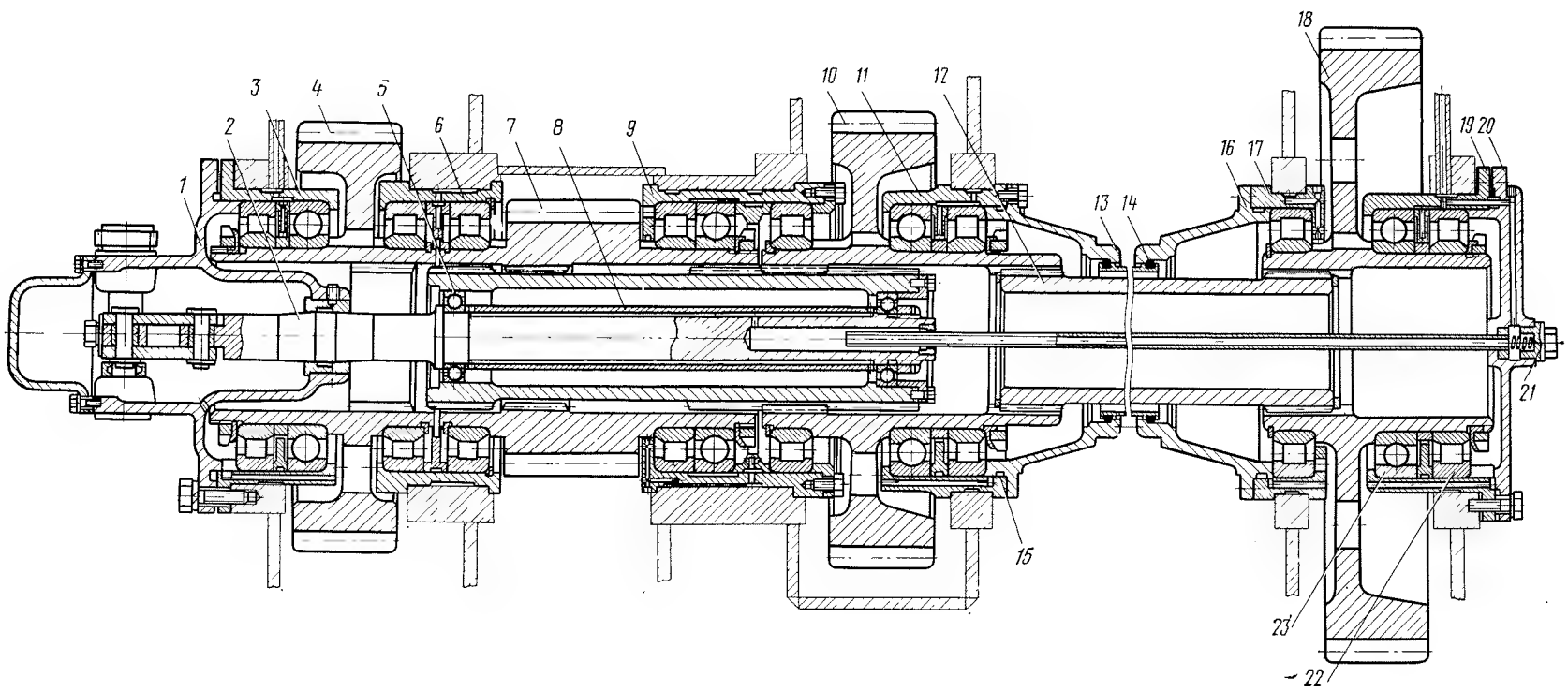
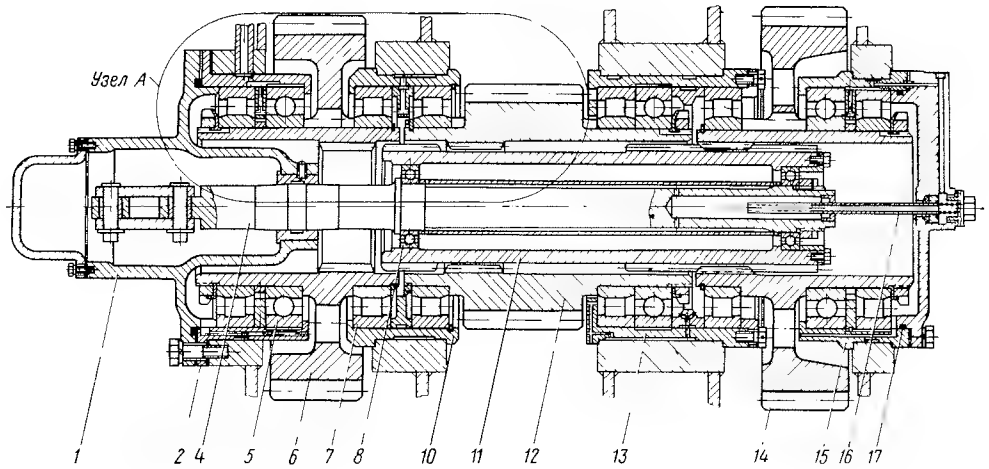


Рис. V-5. Вал режимов унифицированной гидропередачи:

1, 16, 20 — крышки; *2* — валик; *3, 6, 9, 11, 17, 19* — стаканы; *4, 7, 10, 18* — шестерни; *5, 23* — шариковые подшипники; *8* — муфта подвижная; *12* — муфта неподвижная; *13* — кожух; *14, 15* — уплотнительные кольца; *21* — устройство для подвода смазки; *22* — роликовый подшипник



Узел А
Сборка вала для магистральных тепловозов

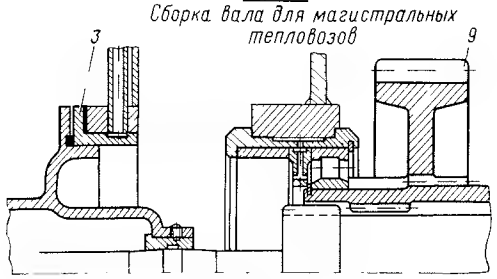


Рис. V-6. Вал реверса унифицированной гидропередачи:

1 — корпус; *2, 3, 10, 13, 15* — стаканы; *4* — валик; *5, 8* — шариковые подшипники; *6, 9, 12, 14* — шестерни; *7* — роликовый подшипник; *11* — муфта подвижная; *16* — устройство для подвода смазки; *17* — кольцо уплотнительное

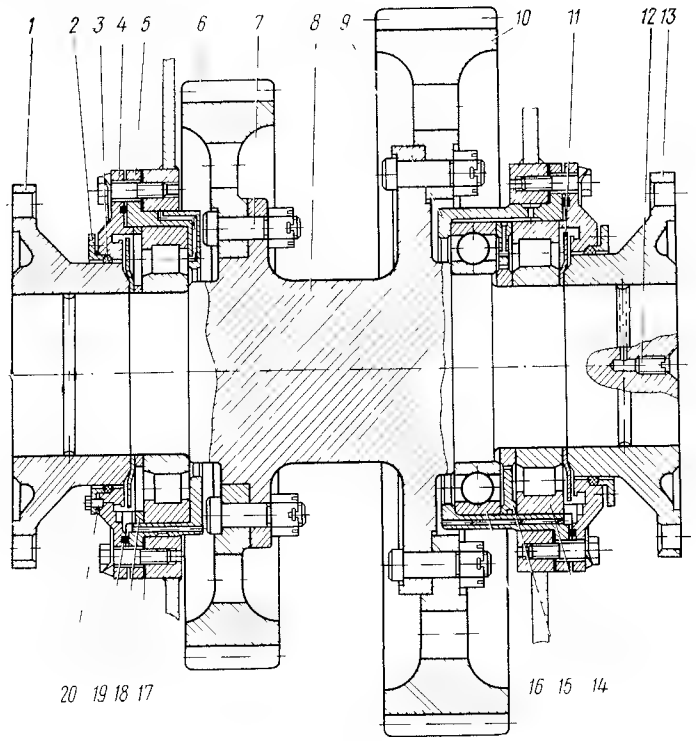


Рис. V-7. Раздаточный вал унифицированной гидропередачи:

1, 13 — фланцы; *2* — шайба нажимная; *3* — набивка сальниковая; *4* — крышка; *5, 9* — корпус подшипника; *6, 10* — колесо зубчатое; *7, 20* — болты; *8* — вал; *11* — кольцо отражательное; *12* — заглушка; *14* — роликовый подшипник; *15, 18* — кольца; *16* — шариковый подшипник; *17* — прокладка; *19* — кольцо уплотнительное

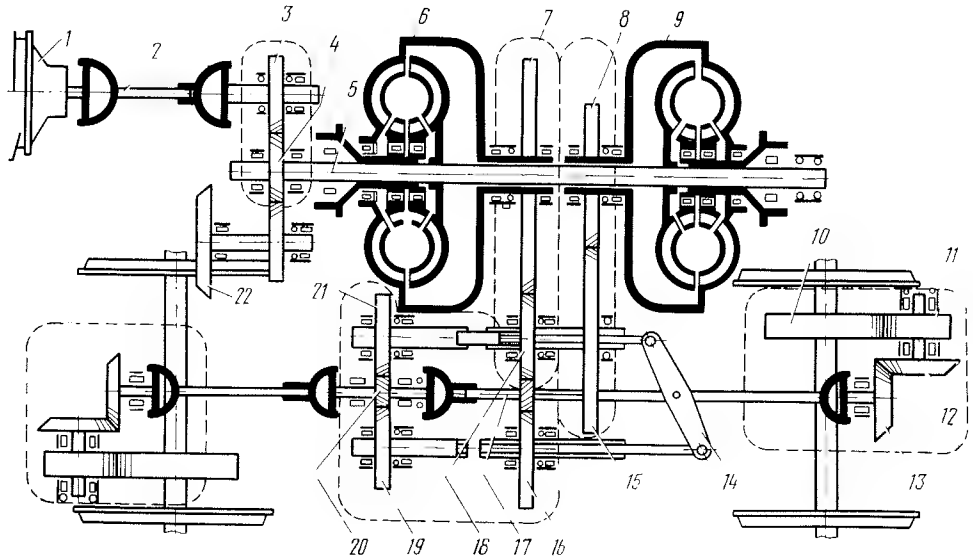


Рис. V-8. Схема гидропередачи Л60:

1 — коленчатый вал дизеля; *2* — карданный вал; *3, 4, 7, 8, 10—13, 15, 16, 18, 19—22* — шестерни; *5* — вал насосных колес; *6* — второй гидротрансформатор; *9* — первый гидротрансформатор; *14* — вал реверса; *17* — выходной вал

терней *7* — передний ход маневрового режима.

Реверсирование тепловоза производится включением подвижной муфты *11* (рис. V-6) с шестерней *6* (задний ход поездного режима) и с шестерней *12* (задний ход маневрового режима).

Раздаточный вал гидропередачи имеет два выходных фланца *1* и *13* (рис. V-7), посаженных на вал при помощи конической прессовой посадки. Если на тепловозе устанавливают две гидропередачи, то раздаточный вал имеет один выходной фланец.

Унифицированную гидропередачу УГП 750-1200 устанавливают на тепловозах ТГМ3А, ТГМ5, ТГМ6, ТГ102. На тепловозах ТГМ3Б и ТГ16 гидропередачу применяют со снятой гидромуфтой. Однако для тепловоза ТГ16 начали в последнее время устанавливать гидропередачу с гидромуфтой. На тепловозах ТГ102, кроме унифицированной гидропередачи, установлены в небольшом количестве гидропередачи L-217 (фирмы Фойт) и Л60 (Ворошиловоградского завода). На тепловозах ТГ102 и ТГ16 гидропередача УГП установлена без режимного устройства. Гидропередача L-217 отличается от УГП 750-1200 раздаточным редуктором.

Гидропередача Л60 состоит из двух комплексных гидротрансформаторов и реверс-режимного устройства. Вращающий момент от коленчатого вала дизеля *1* (рис.V-8) передается через карданный вал *2*, шестерни *3* и *4* повышающей передачи на вал *5* насосных колес гидротрансформаторов. От шестерни *22* приводится во вращение вентилятор холодильника тепловоза и центробежный питательный насос. От вала

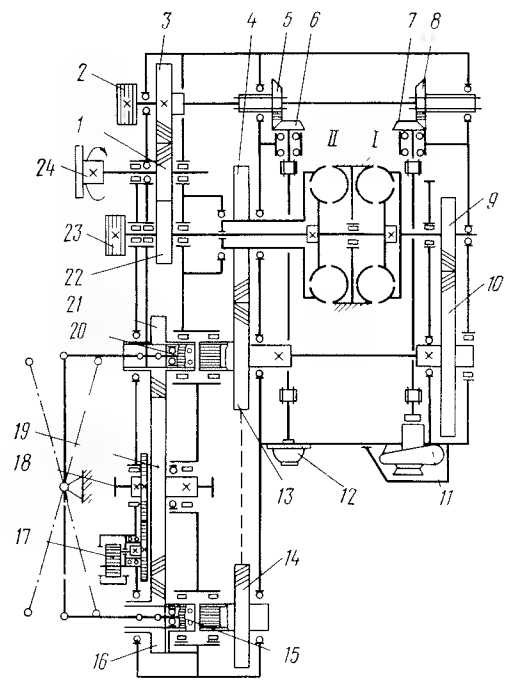


Рис. V-9. Кинематическая схема гидропередачи дизель-поезда ДР1:

1, 3—10, 13, 14, 16, 19, 21, 22 — шестерни; *2* — шкив для привода тормозного компрессора; *11* — питательный насос; *12* — откачивающий насос; *15* — шлицевая муфта заднего хода; *17* — насос системы смазки; *18* — выходной вал; *20* — шлицевая муфта переднего хода; *23* — шкив для привода вспомогательного генератора; *24* — входной вал гидропередачи; *I* — первый гидротрансформатор; *II* — второй гидротрансформатор

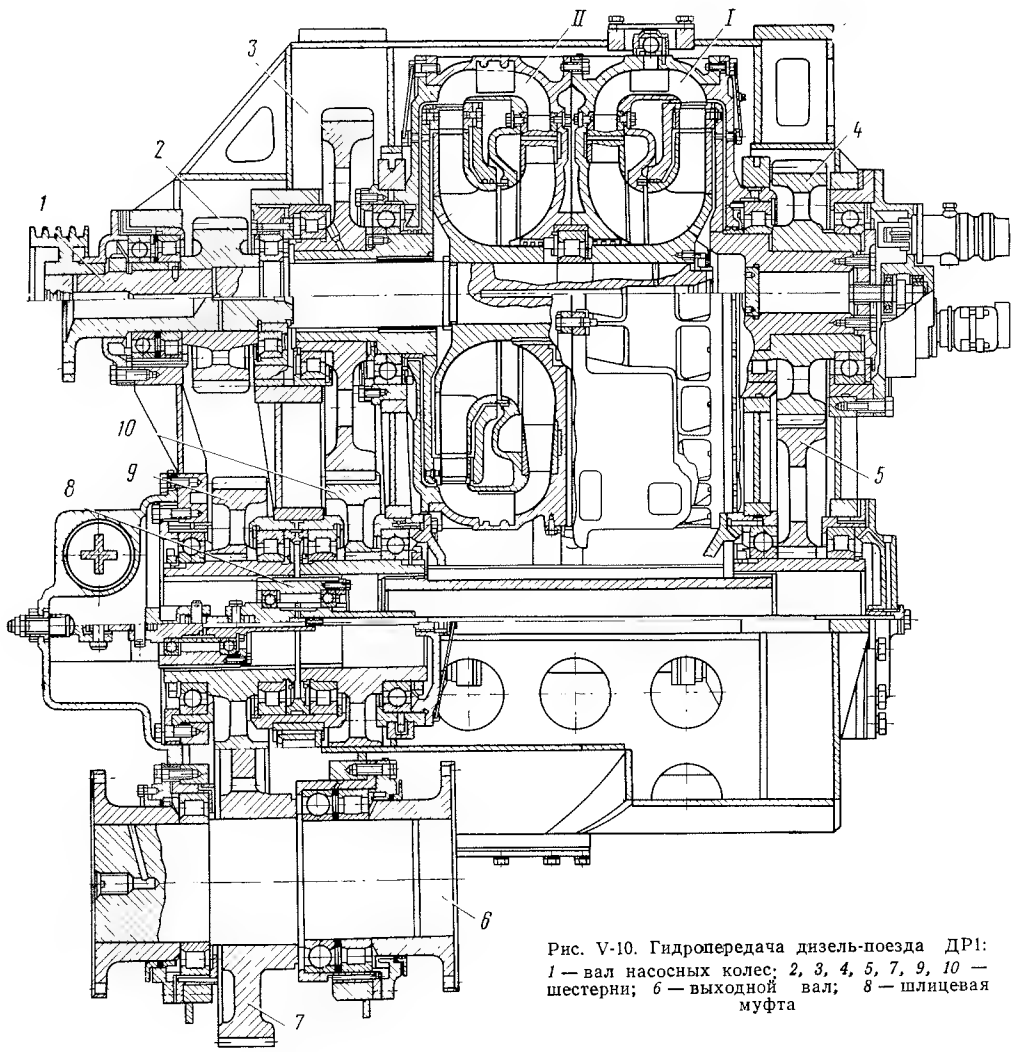


Рис. V-10. Гидропередача дизель-поезда ДР1:
1 — вал насосных колес; *2, 3, 4, 5, 7, 9, 10* — шестерни; *6* — выходной вал; *8* — шлицевая муфта

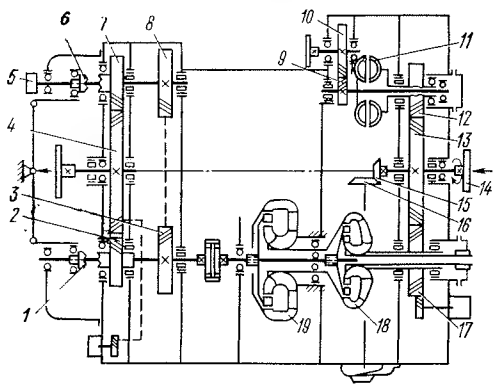


Рис. V-11. Кинематическая схема гидропередачи дизель-поезда ДР2:
1, 6 — шлицевые муфты; *2—4, 7—10, 12, 13, 15—17* — шестерни; *5* — импульсный насос; *11* — гидромуфта привода тормозного компрессора; *14* — входной вал гидропередачи; *18* — маршевый гидротрансформатор; *19* — пусковой гидротрансформатор

шестерни *3* через торсионный вал и муфту вращение передается на вспомогательный генератор и тормозной компрессор. От первого гидротрансформатора *9*, заполненного маслом, мощность передается через шестерни *8, 15* до скорости 45 км/ч. При заполнении маслом второго гидротрансформатора *6* движение передается через шестерни *7, 18, 16*. Прямое или обратное вращение выходной шестерни *20* осуществляется двумя шестернями *19, 21* валов реверса *14* и двумя шлицевыми муфтами. От выходной шестерни *20* через вал *17* и шестерни *10—13* осевого редуктора движение передается к колесным парам.

Гидропередача дизель-поезда ДР1 содержит два одинаковых гидротрансформатора — пусковой *I* и маршевый *II* (рис. V-9) и систему зубчатых колес (рис. V-10).

Устройство и размеры гидротрансформаторов такие же, как в унифицированной гидропередаче (см. рис. V-3).

Реверсирование осуществляется шлицевой муфтой *8*, которая имеет такое же

устройство, как и шлицевая муфта передачи УГП 750-1200.

Гидропередача дизель-поезда ДР2 расположена вместе с дизелем под вагоном. Для уменьшения размеров по вертикали все валы гидропередачи расположены в одной плоскости. Гидропередача состоит из двух гидротрансформаторов: пускового *19* и маршевого *18* (рис. V-11). Конструкция пускового гидротрансформатора аналогична конструкции гидротрансформаторов унифицированной гидропередачи. Маршевый гидротрансформатор имеет центростремительную турбину.

Гидропередача дизель-поезда Д1 (рис. V-12, V-13) состоит из гидротрансформатора и коробки скоростей с двумя фрикционными муфтами. Эта передача относится к классу смешанных передач, т. е. разгон производится с помощью гидротрансформатора, а дальнейшее движение — на механической передаче.

Реверсирование передачи осуществляется передвижением шестерни *21* (рис. V-12). Соединение шестерни *21* с шестерней *26* — прямая передача, а с шестерней *23* — обратная.

Режимы работы гидропередачи (рис. V-12) и порядок соединения шестерен указаны ниже.

На гидротрансформаторе	*3, 28, 6, 7, 11, 13, 15, 16, 25, 19, 23, 21*
На первой (*14*) фрикционной муфте	*3, 28, 15, 16, 25, 19, 23, 21*
На второй (*4*) фрикционной муфте	*3, 28, 5, 26, 25, 19, 23, 21*

Основные технические данные гидротрансформаторов, гидромуфт и зубчатых колес гидропередач приведены в табл. V-5, а гидропередач — в табл. V-6. Характеристики масел, применяемых в гидропередачах:

Марка масла . . .	ГТ50	Турбинное 22
Удельный вес, г/см³	0,876—0,891	0,901

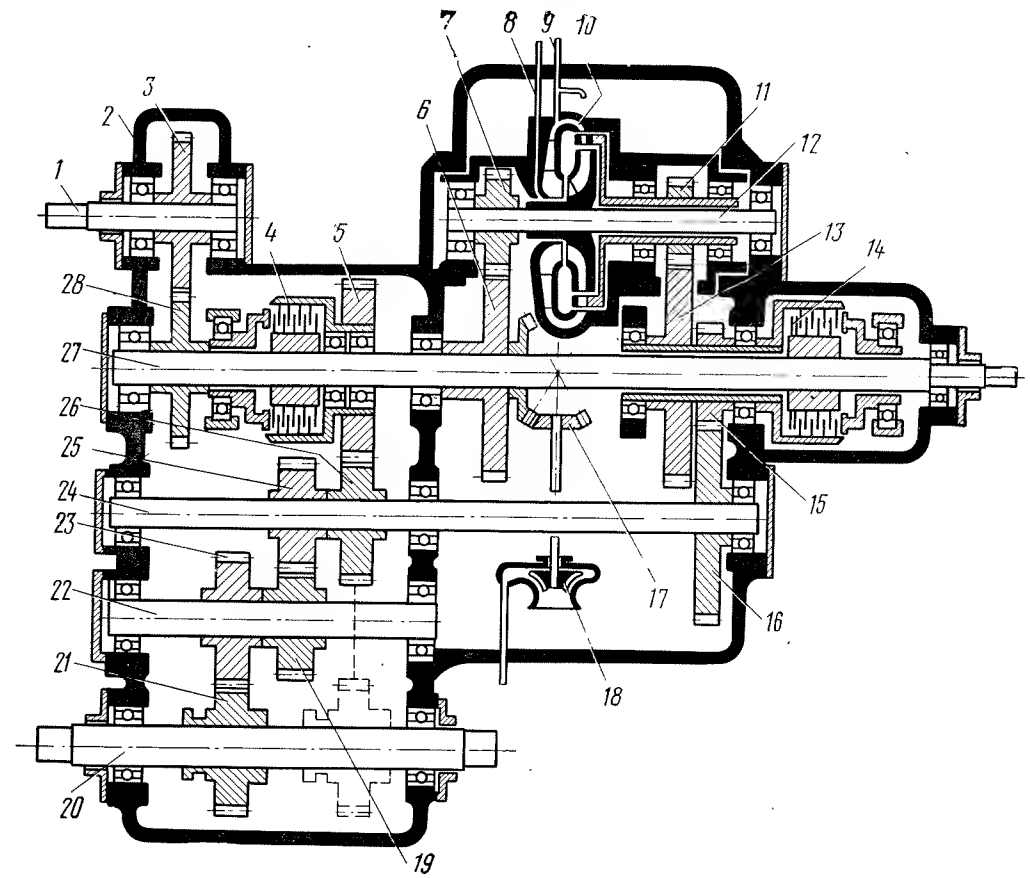


Рис. V-12. Кинематическая схема гидропередачи дизель-поезда Д1:
1 — входной вал передачи; *2* — корпус передачи; *3, 5—7, 11, 13, 15, 16, 19, 21, 23, 25, 26, 28* — шестерни; *4* — фрикционная муфта второй ступени; *8* — трубка для подвода масла с гидротрансформаторов; *9* — трубка для отвода масла в холодильник; *10* — гидротрансформатор; *12* — насосный вал; *14* — фрикционная муфта первой ступени; *17* — шестерня привода питателного насоса; *18* — центробежный питательный насос; *20* — выходной вал передачи; *22, 24* — промежуточные валы; *27* — вал фрикционных муфт

Вязкость при 50° С:		
кинематическая, сСт	10—14	20—23
условная, ВУ°	1,86—2,26	2,9—3,2
Температура вспышки, °С	165	180
Температура застывания, °С	—30	—15

Передача движения от гидравлической передачи к колесам тепловоза. Для передачи движения от гидропередачи к колесам тепловоза применяют осевые редукторы и карданный привод.

Двухступенчатый осевой редуктор (рис. V-14) с цилиндрической шестерней на оси колесной пары применяют на тепловозах ТГМ3А, ТГ102, ТГМ5, ТГМ6.

У двухступенчатого осевого редуктора (рис. V-15) тепловоза ТГ16 в качестве первой ступени применена цилиндрическая зубчатая пара с косыми зубьями. Вторая ступень выполнена из конических зубчатых колес с круговыми зубьями.

Таблица V-5

Основные технические данные гидротрансформаторов, гидромуфт и зубчатых колес гидропередач

Гидроаппараты	Мощность, л. с.	Частота вращения, об/мин	Активный диаметр, м	Расчетное передаточное отношение	Максимальный к. п. д.
Гидротрансформатор Т06 передачи УГП 750-1200 (ТП 1000)	1200	2000	0,642	0,65	0,87
Гидротрансформатор Т04 передачи ГП400	400	2000	0,51	0,55	0,85
Гидромуфта передачи УГП 750-1200	1200	2000	0,58	0,97	0,97
Гидромуфта передачи ГП400	400	2000	0,58	0,97	0,97
Гидротрансформатор передачи УГП 750-1200 (ТП 1000 М)	1200	2000	0,642	0,65	0,885
Гидротрансформатор Т09 передачи 600	600	2000	0,464	0,95	0,905
Гидротрансформатор передачи Л60 (ГТКII)	1000	1850	0,669	0,65	0,87

Продолжение

Гидроаппараты	Углы наклона лопаток, град.						Число лопаток			
	Насос		Турбина		Направляющий аппарат				Направляющий аппарат	
	Вход	Выход	Вход	Выход	Вход	Выход	Насос	Турбина	первый	второй
Гидротрансформатор Т06 передачи УГП 750-1200 (ТП 1000)	35°18′	58°50′	83°	16°30′	122°	78°	21	52	54	27
Гидротрансформатор Т04 передачи ГП400	64°	45°	108°	19°	52°	66°	20	18	—	—
Гидромуфта передачи УГП 750-1200	90°	90°	90°	90°	—	—	45	42	—	—
Гидромуфта передачи ГП400	90°	90°	90°	90°	—	—	28	26	—	—
Гидротрансформатор передачи УГП 750-1200 (ТП 1000 М)	45°	64°	87°	15°20′	117°	59°	21	52	54	27
Гидротрансформатор Т09 передачи ГДП 600	31°	57°50′	46°40′	19°	81°50′	78°30′	19	36	32	—
Гидротрансформатор передачи Л60 (ГТКII)	67°	52°	133°	23°	90°	30°	21	23	37	31

Таблица V-6

Основные технические данные гидропередач

Показатели	Гидропередачи типа					
	УГП350-500	ГП400	УГП750-1200	К32Р	ГДП 1000	ГДП 600
Градации мощности	II	II	III	IV	III	III
Диапазон мощности по дизелю, л. с.	350—500	400	750—1200	2000	1000	600
Наибольшая частота вращения насосного вала, об/мин	2080	2080	2050	2250	2050	2050
Количество гидромуфт	2	2	1	—	—	—
Количество гидротрансформаторов	1	1	2	3	2	2
Тип гидротрансформатора	Т06 52/12	Т04 52/10	Т06 64/12	ГПС3, ГП1	ТП1000 (Т06)	Т09
Тип гидромуфты	М 46/20	М 46/20	М 58/24	—	—	—
Наибольший к. п. д. гидропередачи в режиме гидротрансформатора	0,81*	0,78	0,8	0,81	—	—
Наибольший к. п. д. гидропередачи в режиме гидромуфты	0,89*	0,89	0,87	—	0,87	0,9
Система автоматического управления передачей	Гидромеханическая*2		Электрогидравлическая	Электропневматическая*3	Электрогидравлическая	
Рабочая жидкость	Масло турбинное 22	Масло индустриальное 20	Масло турбинное 22 с антипенной присадкой ПМС 200 А или масло ГТ50	Масло ГТ 50	Масло турбинное 22 с антипенной присадкой ПМС 200А или масло ГТ50	
Масса гидропередачи*4 без масла, кг	6840*5 / 2830	6340 / 2930	5800 / 5300	7500	3080	2287
Применяется на тепловозах с режимным устройством	ТГМ21 ТГМ23	ТГМ1	ТГ16 ТГМ3А ТГМ5 ТГМ6	—	На дизель-поезде ДР1	На дизель-поезде ДР2
Применяется на тепловозах без режимного устройства	—	ТУ5Э	ТГ102 ТГМ3Б	ТГП50	—	—

* Без присоединяемого реверс-режимного или реверсивного редуктора. *2 В зависимости от скорости тепловоза. *3 В зависимости от скорости тепловоза и частоты вращения вала дизеля. *4 В числителе — с режимным устройством и с присоединяемым реверс-режимным (реверсивным) редуктором; в знаменателе — без режимного (реверсивного) редуктора. *5 Масса с реверс-режимным редуктором приведена для тепловозов ТГМ21 и ТГМ23.

Одноступенчатый осевой редуктор с коническими шестернями дизель-поезда Д1 состоит из конической шестерни *5* (рис. V-16), насаженной на ось колесной пары *3* и находящейся в зацеплении с шестерней *2*, выполненной вместе с валом, и карданной вилки *1*.

Основные характеристики осевых редукторов приведены в табл. V-7.

Вращающий момент от гидропередачи к осевым редукторам передается карданными валами (рис. V-17), которые благодаря шлицевым и шарнирным соединениям обеспечивают возможность осевых и угловых перемещений приводимых агрегатов относительно друг друга при вписывании в кривую. Схемы карданных приводов тепловозов приведены на рис. V-18.

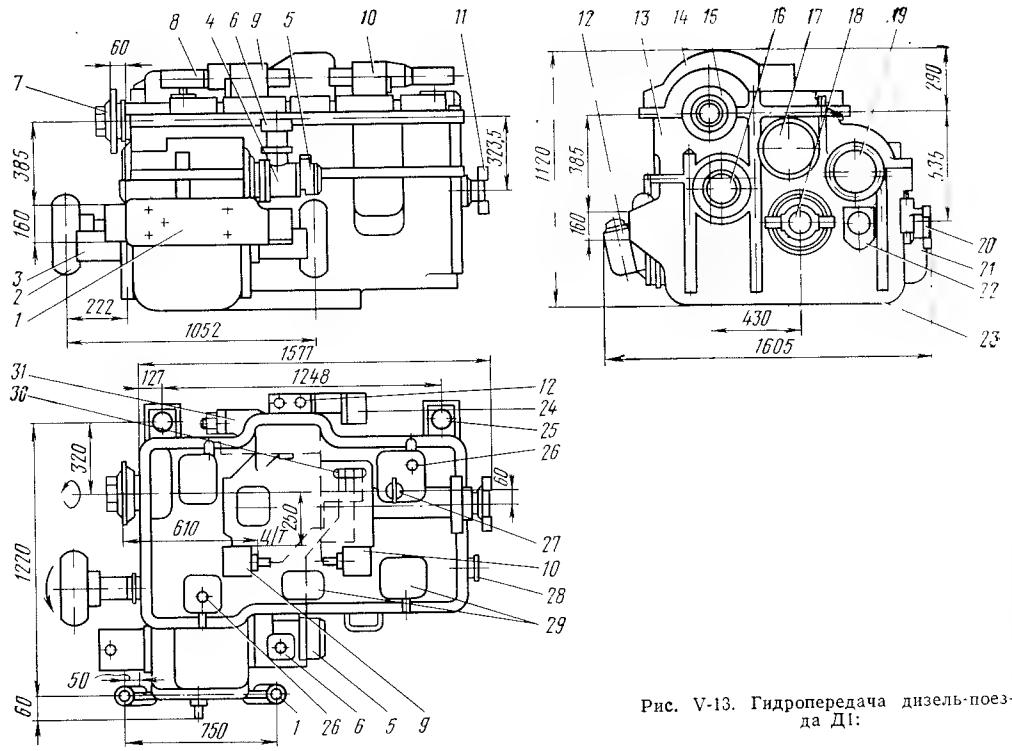


Рис. V-13. Гидропередача дизель-поезда Д1:

1 — траверса; *2* — шарнир Гука; *3* — цилиндр реверса; *4* — тормоз реверса; *5* — генератор скоростемера; *6* — цилиндр тормоза реверса; *7* — фланец входного вала; *8* — пылезащитная коробка; *9* — цилиндр включения III скорости; *10* — цилиндр включения II скорости; *11* — крестовина; *12* — фильтр; *13* — средняя часть корпуса коробки скоростей; *14* — крышка (верхняя часть) корпуса коробки скоростей; *15* — входной вал; *16* — главный вал; *17* — передаточный вал; *18* — распределительный вал; *19* — реверсивный вал; *20* — валик для ручной перестановки шестерни реверса; *21* — патрубок масломерного щупа; *22* — посадочное гнездо цилиндра реверса; *23* — нижняя часть корпуса коробки скоростей; *24* — обратный клапан; *25* — кронштейн; *26* — сапун; *27* — горловина для заливки масла; *28* — импульсный датчик; *29* — крышки корпуса; *30* — гребенка подвода воздушных трубок; *31* — цилиндр включения I скорости

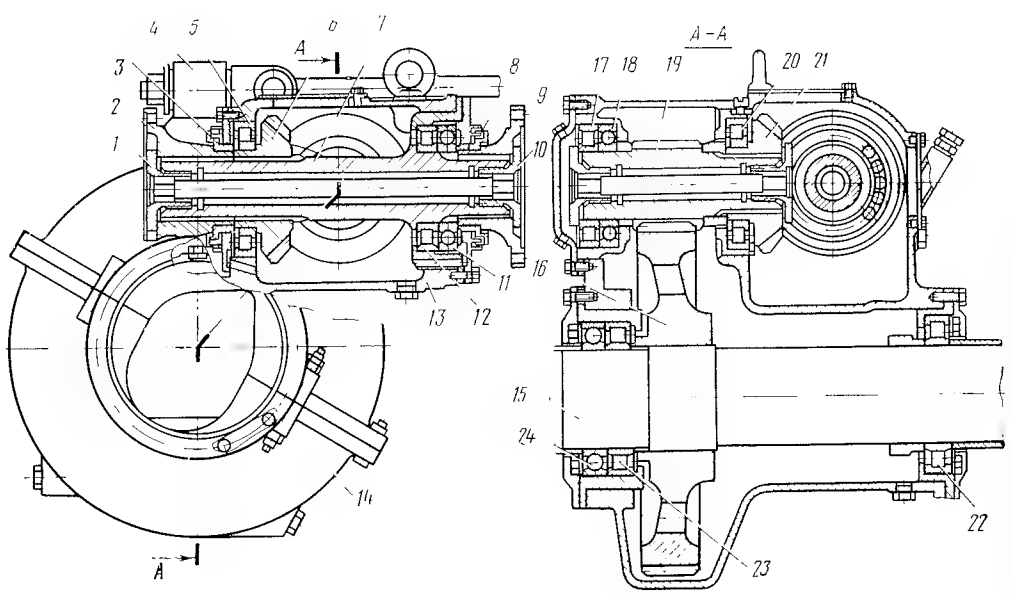


Рис. V-14. Двухступенчатый редуктор тепловозов ТГМ3А и ТГ102:

1, 10 — гайки разрезные; *2, 9* — фланцы; *3, 8* — лабиринтные кольца; *4* — амортизатор; *5, 12, 17, 20, 22, 23* — роликовые подшипники; *6* — ведущая конической шестерня; *7* — входной вал; *11, 18, 24* — упорные шариковые подшипники; *13* — верхняя часть корпуса; *14* — нижняя часть корпуса; *15* — ось колесной пары; *16* — ведомая цилиндрическая шестерня; *19* — ведущая цилиндрическая шестерня; *21* — ведомая коническая шестерня

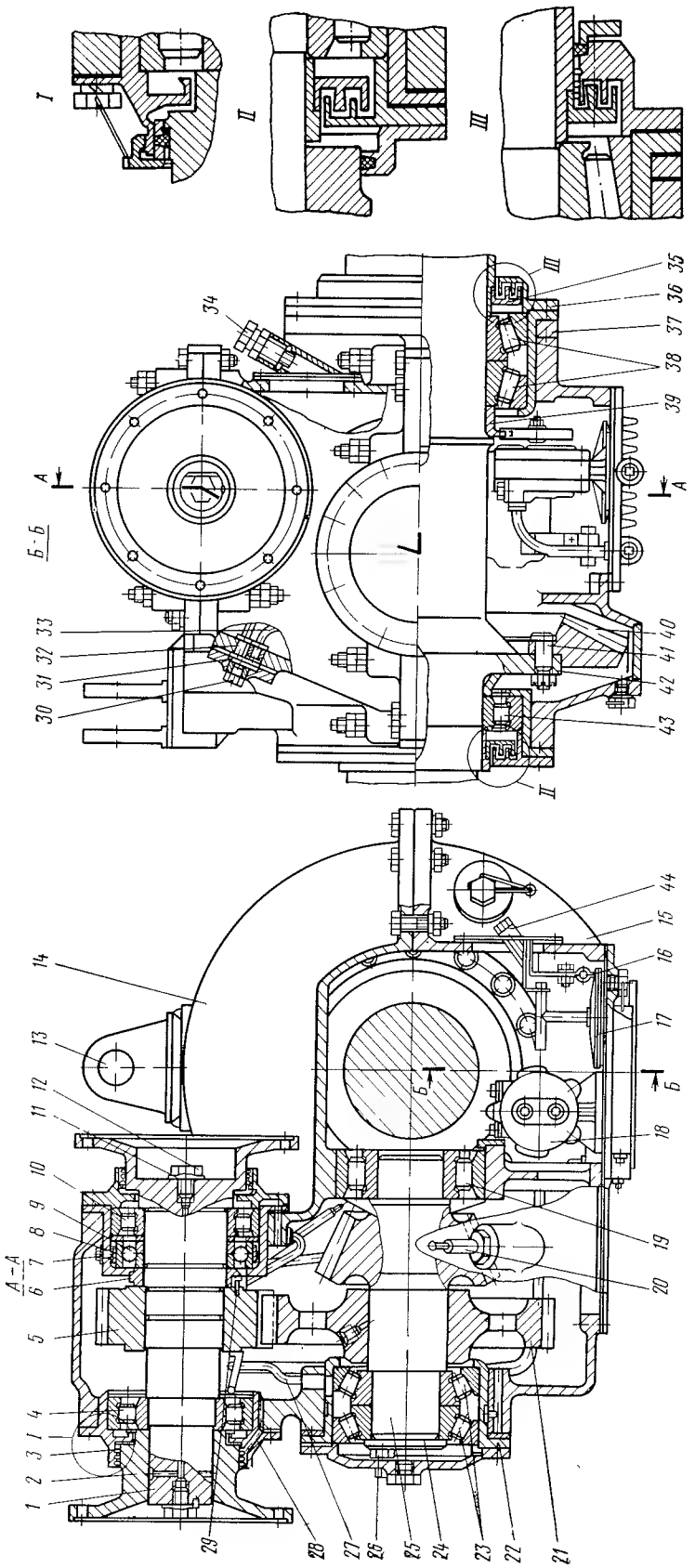


Рис. V-15. Осевой редуктор тепловоза ТГ16:

1 — вал ведущий; *2* — фланец; *3, 35* — лабиринтные уплотнения; *4, 10, 19, 23, 38, 43* — роликовые подшипники; *5, 21* — шестерни; *6* — гайки; *7* — фиксатор; *8* — кольцо; *9* — шариковый подшипник; *11* — шайба стопорная; *12, 30* — пробки; *13* — картер средний; *15* — картер нижний; *16* — магнит постоянный; *17* — фильтр сетчатый; *18* — насос смазки; *20* — щуп; *22* — полукольцо; *24* — крышка; *25* — вал-шестерня; *26, 41* — болты; *27, 32, 33* — маслопровод; *28* — стакан; *29* — штифт; *31* — коллектор; *34* — сапун; *36* — прокладка; *37* — полукольцо; *39* — шестерня привода насоса; *40* — шестерня коническая; *42* — ось; *44* — горловина

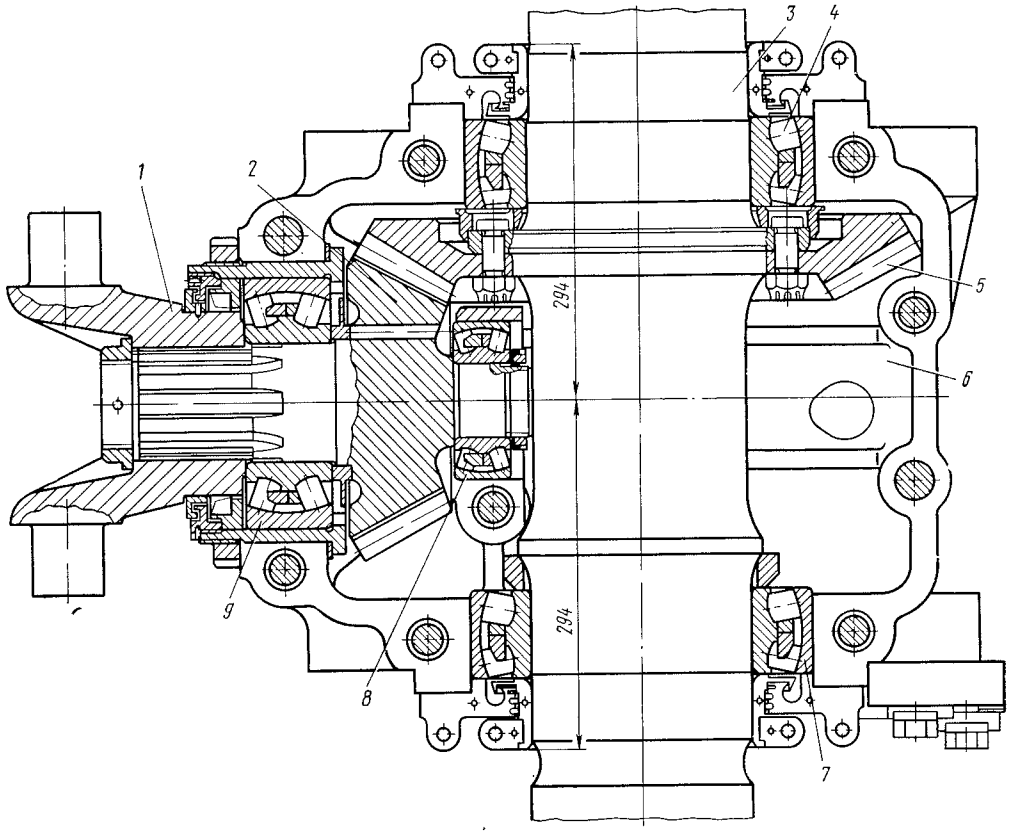


Рис. V-16. Осевой редуктор дизель-поезда Д1:
1 — карданная вилка; *2, 5* — шестерни; *3* — ось колесной пары; *4, 7, 8, 9* — роликовые подшипники; *6* — корпус буксы

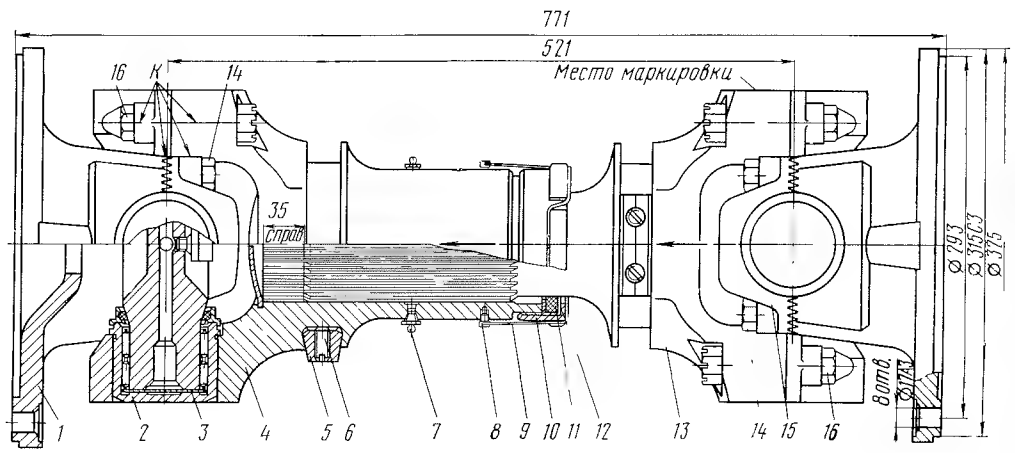


Рис. V-17. Карданный вал осевых редукторов тепловоза ТГМ6:
1 — фланец; *2* — роликовый подшипник игольчатый; *3* — крестовина; *4* — вилка скользящая; *5* — груз балансировочный; *6* — винт стопорения груза; *7* — масленка консистентной смазки; *8* — винт; *9* — проволока стопорная; *10* — гайка сальникового уплотнения; *11* — кольцо уплотнительное; *12* — шайба; *13* — вилка шлицевая; *14* — болт крепления крышек фланцев; *15* — крышка фланца; *16* — болт крепления крышек вилок

Таблица V-7

Основные характеристики осевых редукторов

Тип	Номинальный крутящий момент*, кгс·м	Количество ступеней	Тип колес осевой ступени*2	Способ подачи смазки*3	Расположение реактивных тяг*4	Диаметр оси под опорно-осевыми подшипниками, мм	Передаточное число (общее)	Установлены на тепловозах и дизель-поездах
I	3800	2	Ц	Р*5	Г	220	3,0 4,25	ТГ102, ТГМ5, ТГМ6
I	3800	2	К	П	Г	220	2,61	ТГ16, ДР1, ДР2
II	3000	2	Ц	Р	Г	200	4,25	ТГМ3, ТГМ3А
III	2300	1	К	П	Г	190	1,86	Д1

* Передаваемый оси колесной пары при $\psi_K = 0,33$.
*2 Ц — цилиндрический; К — конический.
*3 Р — разбрызгиванием; П — принудительно.
*4 Г — горизонтальное.
*5 На тепловозе ТГМ5 — принудительно.

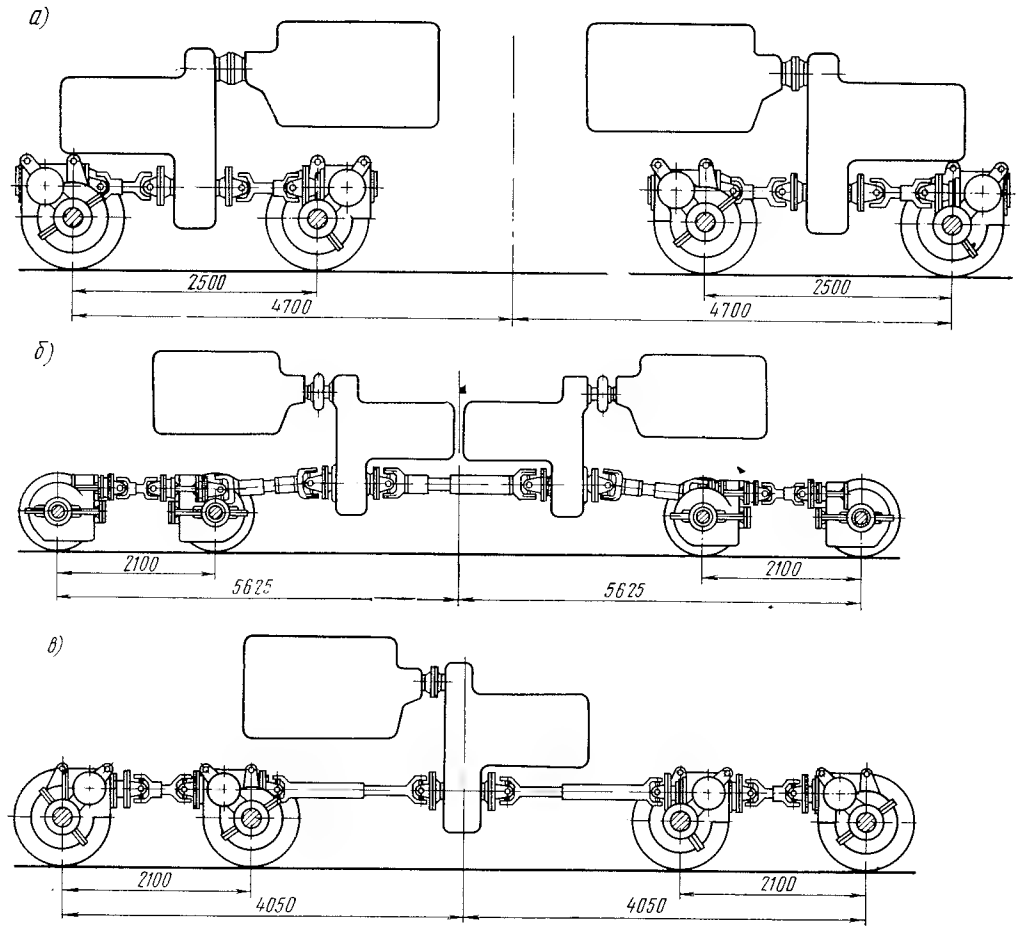


Рис. V-18. Схемы карданных приводов тепловозов ТГ102 (*а*), ТГ16 (*б*) и ТГМ2А, ТГМ5 и ТГМ6 (*в*)

VI. ТОРМОЗНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ТЕПЛОВОЗОВ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ

VI-1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТОРМОЗОВ И СХЕМЫ ТОРМОЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На подвижном составе железных дорог СССР применяются следующие виды пневматических тормозов: прямодействующий автоматический (на грузовых и маневровых локомотивах и вагонах), непрямодействующий автоматический (на пассажирских локомотивах и вагонах, моторвагонном подвижном составе и дизель-поездах), электропневматический (на пассажирских локомотивах и вагонах, моторвагонном подвижном составе и дизель-поездах), прямодействующий неавтоматический (на грузовых, пассажирских и маневровых локомотивах в качестве вспомогательного тормоза).

Классификация тормозов показана на рис. VI-1. Схемы тормозного оборудования, которое применяется на электровозах и тепловозах, приведены на рис. VI-2 — VI-5.

Схемы тормозного оборудования электропоездов показаны на рис. VI-6 и VI-7, а тормозного оборудования дизель-поездов — на рис. VI-8.

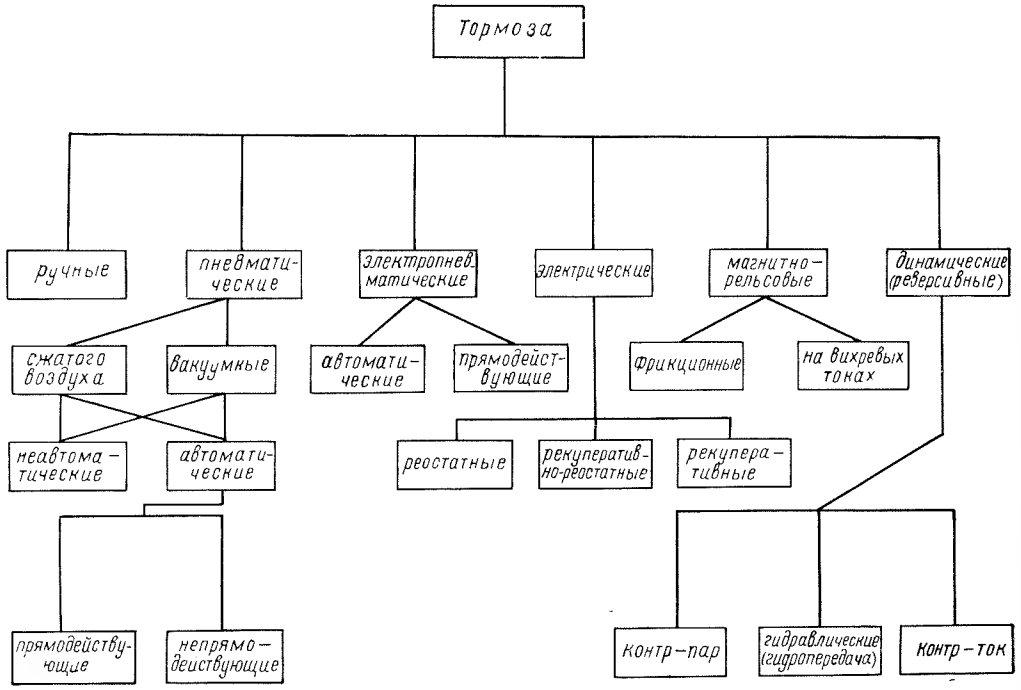


Рис. VI-1. Классификация тормозов

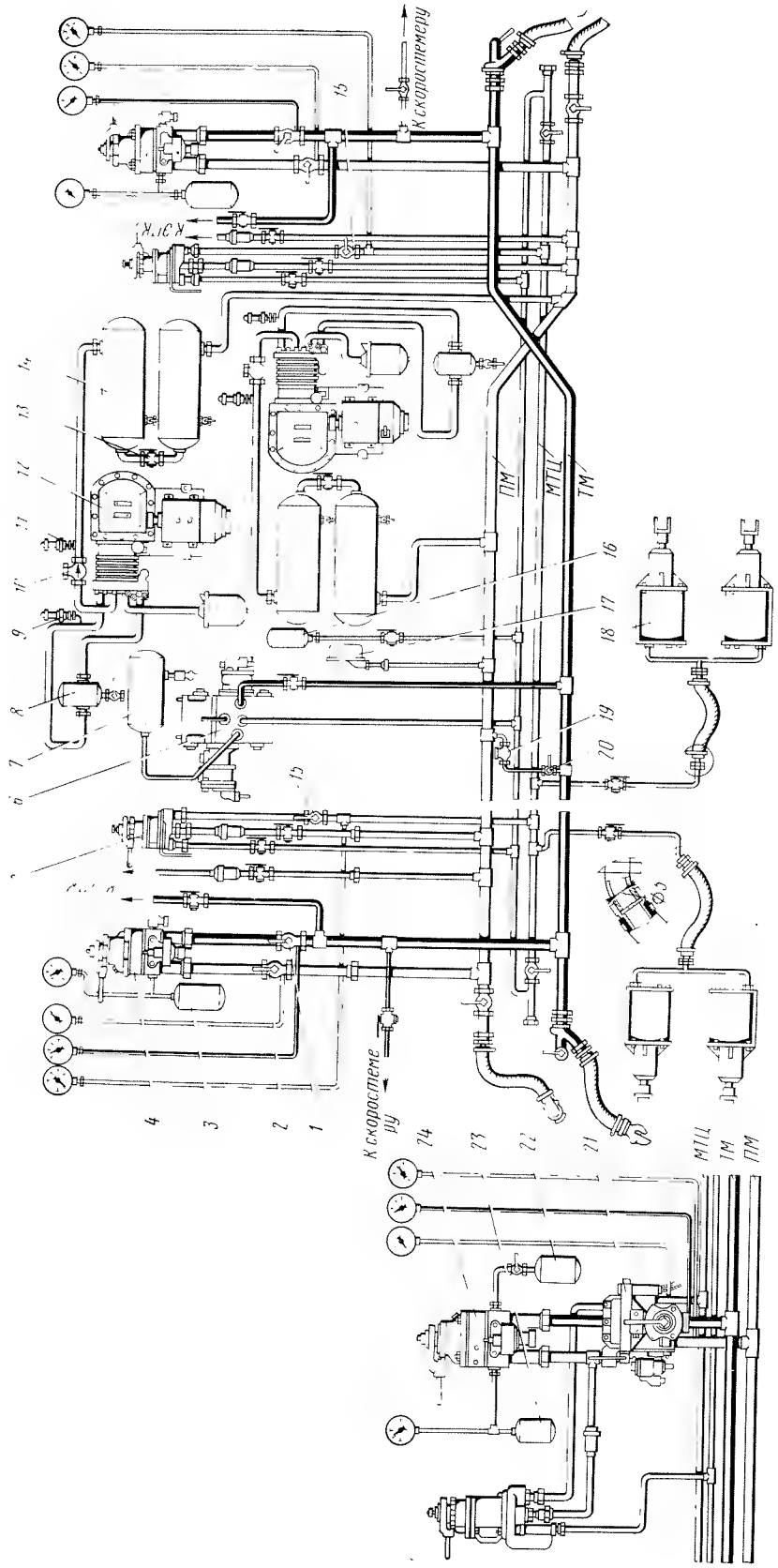


Рис. VI-2. Схема тормозного оборудования односекционного грузового электровоза и тепловоза:

1 — кран комбинированный 114; *2*, *13* — кран разобщительный 377; *3* — уравнительный резервуар объемом 20 *л*; *4* — кран машиниста 394; *5* — кран 254 вспомогательного тормоза; *6* — воздухораспределитель 270-002 или 270-005-1; *7* — запасной резервуар объемом 55 или 78 *л*; *8* — маслоотделитель Э-120; *9* — предохранительный клапан 216; *10* — обратный клапан 155А; *11* — предохранительный клапан Э-216; *12* — компрессор Э-500; *14* — главные резервуары общим объемом 1000—2000 *л*; *15*, *20* — кран ½″ разобщительный; *16* — резервуар объемом 5—7 *л*; *17* — регулятор давления АК-11Б на электровозах и ЗРД на тепловозах; *18* — тормозные цилиндры диаметром 10—14″; *19* — обратный клапан; 30Ф или Э-175; *21* — блокировка 367М; *22* — резервуар времени объемом 20 *л*; *23* — уравнительный резервуар объемом 8,2 *л*; *24* — кран машиниста 222; *ПМ* — питательная магистраль; *ТМ* — тормозная магистраль; *МТЦ* - магистраль тормозных цилиндров

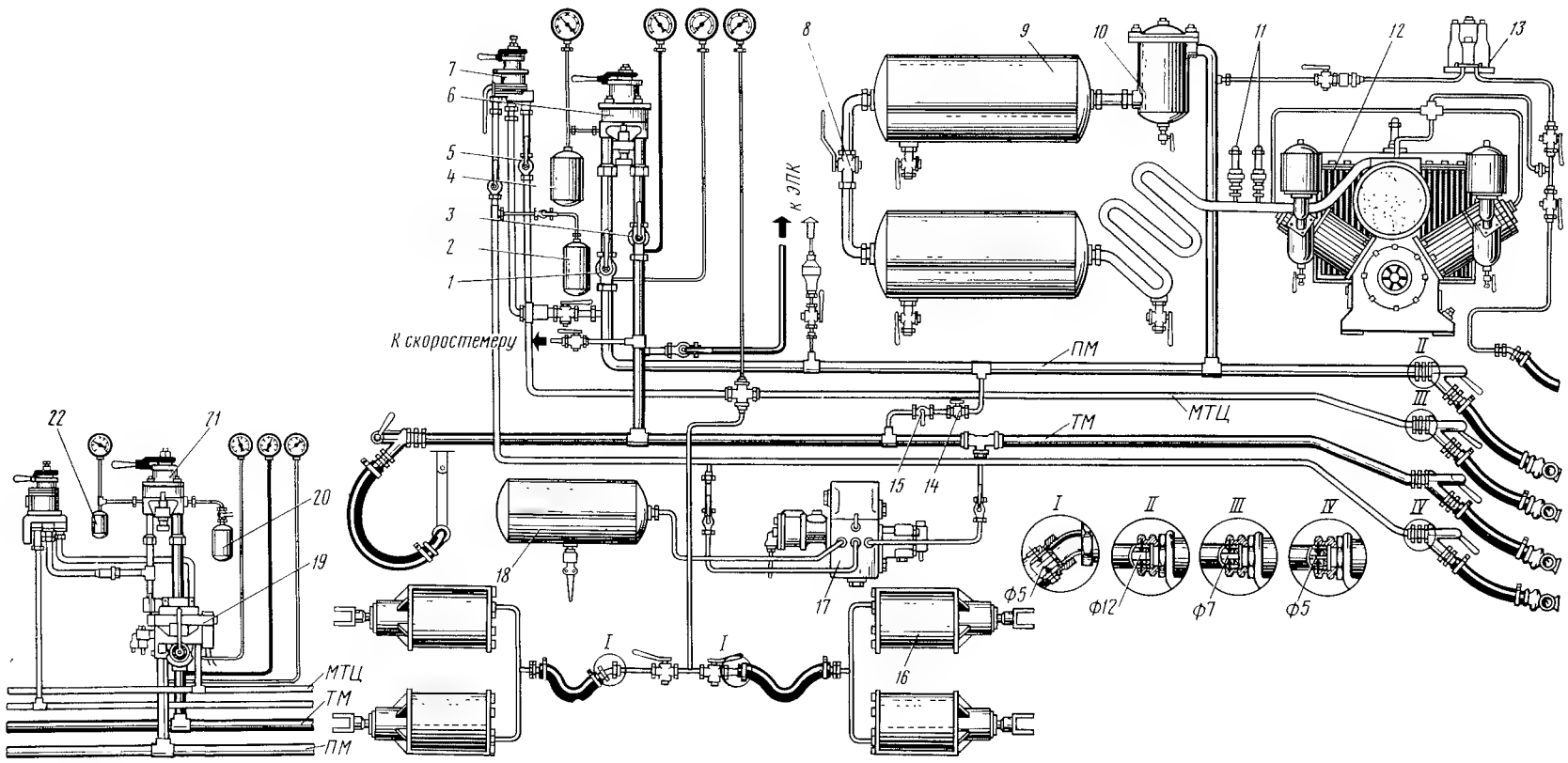


Рис. VI-3. Схема тормозного оборудования двухсекционного грузового электровоза и тепловоза (кроме ТЭ3):

1, 8 — кран разобщительный 377; *2* — резервуар объемом 5—7 л; *3* — кран комбинированный 114; *4* — уравнительный резервуар объемом 20 л; *5, 15* — кран 1/2″ разобщительный; *6* — кран машиниста 394; *7* — кран 254 вспомогательного тормоза локомотива; *9* — главные резервуары общим объемом 1000—2000 л; *10* — маслоотделитель Э-120; *11* — предохранительные клапаны Э-216; *12* — компрессор КТ-6 или КТ-6ЭА; *13* — регулятор давления 3РД на тепловозах или АК-11Б на электровозах; *14* — обратный клапан 30Ф или Э-175; *16* — тормозные цилиндры диаметром 8—14″; *17* — воздухораспределитель 270-002 или 270-005-1; *18* — запасной резервуар объемом 55 л; *19* — блокировка 367м; *20* — резервуар объемом 20 л; *21* — кран машиниста 222; *22* — уравнительный резервуар объемом 8,2 л

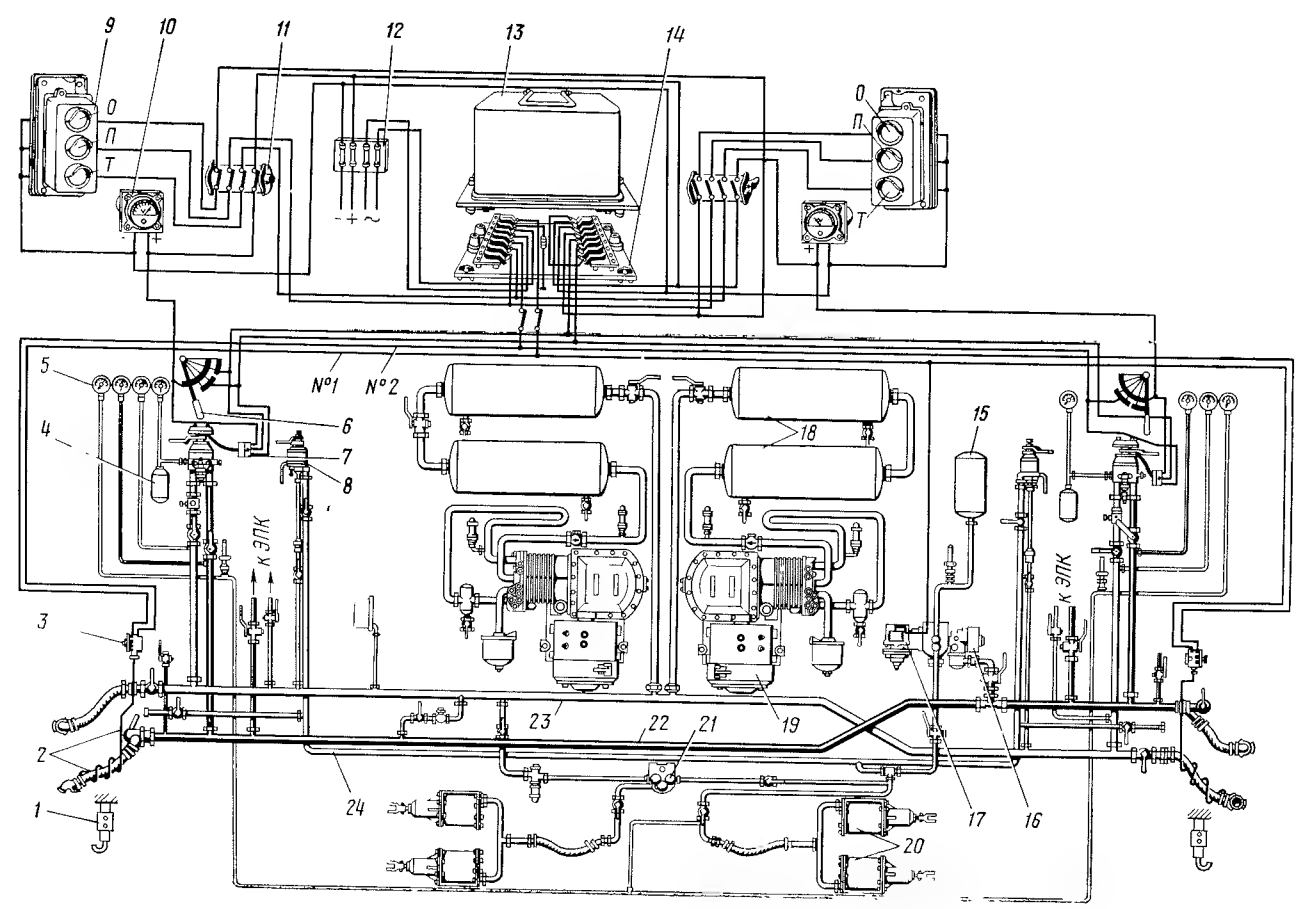


Рис. VI-4. Схема тормозного оборудования односекционного пассажирского локомотива с электропневматическим тормозом:

1 — изолированная подвеска рукава; *2* — рукава 369А с электроконтактом и разобщительным краном 190; *3* — концевая клеммная коробка 316; *4* — уравнительный резервуар объемом 8,2 л при кране машиниста 328 и 20 л при кране 395; *5* — манометры; *6* — контроллер крана машиниста 328 или 395; *7* — штепсельный разъем 354; *8* — кран 254 вспомогательного тормоза локомотива; *9* — сигнализатор; *10* — вольтметр постоянного тока; *11* — пакетные выключатели; *12* — предохранители; *13* — блок управления; *14* — клеммная панель; *15* — запасной резервуар объемом 55—78 л; *16* — воздухораспределитель 292-001; *17* — электровоздухораспределитель 305-000; *18* — главные резервуары общим объемом 1000—1200 л; *19* — компрессор Э-500 или КТ-6ЭЛ; *20* — тормозные цилиндры диаметром 10″; *21* — реле давления 304-002; *22* — тормозная магистраль; *23* — питательная магистраль; *24* — магистраль вспомогательного тормоза

Рис VI-5. Схема тормозного оборудования электровозов ЧС2 и ЧС4:

1 — уравнительный резервуар объемом 20 л; *2* — кран машиниста 395; *3* — кран 254 вспомогательного тормоза локомотива; *4* — ЭПК-150; *5* — резервуар объемом 120—150 л; *6* — фильтр всасывающий; *7* — компрессор К-2; *8* — выпускной кран; *9* — предохранительный клапан; *10* — главные резервуары объемом по 250 л; *11, 19* — влагосборники; *12* — обратный клапан; *13* — фильтр; *14* — автоматический выключатель управления TSP-11; *15* — регулятор давления TSP-11; *16* — скоростной режимный клапан Дако; *17* — переключательный клапан; *18* — отпускной клапан; *20* — тормозной цилиндр 10 или 12″; *21* — центробежный регулятор; *22* — электровоздухораспределитель 305-000 и воздухораспределитель 292-001; *23* — резервуары объемом 8,2 и 10 л; *24* — резервуар объемом 2,5 л; *25* — резервуар объемом 0,5 л; *26* — дополнительный клапан Дако с механическим переключателем; *27* — запасной резервуар объемом 57 л; *28* — электропневматический вентиль на электровозах ЧС2т и ЧС4т; *29* — кран для выключения скоростного устройства; *30* — реле давления 304-002; *31* дроссель с отверстием диаметром 3 мм; *32* — к резервуару приборов управления электровоза

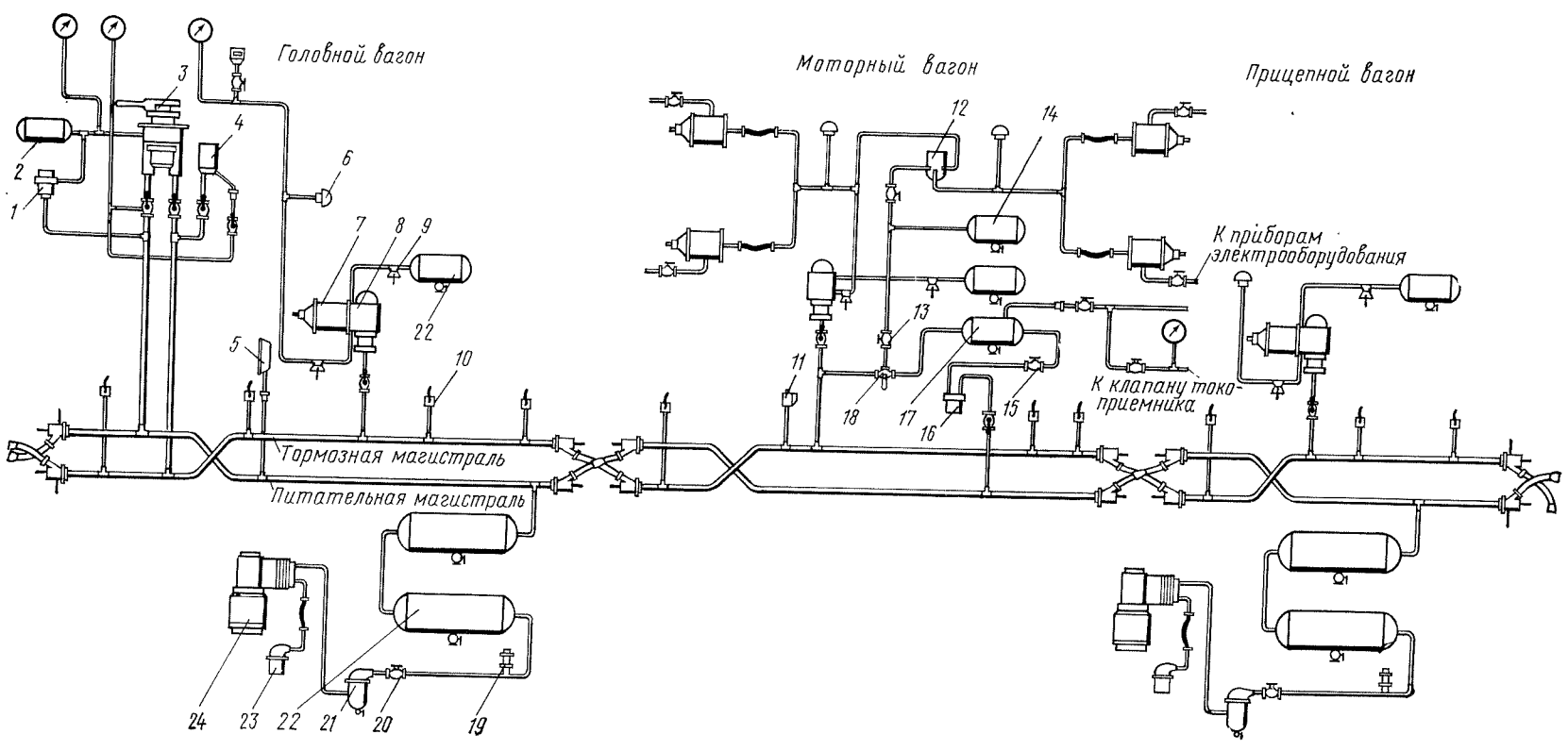


Рис. VI-6. Схема тормозного оборудования электропоездов ЭР2 и ЭР9П:

1 — вентиль перекрыши ВП-47; *2* — уравнительный резервуар объемом 12 л; *3* — кран машиниста 334 с контроллером ЕК-8АР-М; *4* — ЭПК-150-1; *5* — регулятор давления АК-11Б; *6* — сигнализатор отпуска тормозов 352А; *7* — тормозной цилиндр; *8* — электровоздухораспределитель 305-001 и воздухораспределитель 292-001; *9* — выпускной клапан 31; *10* — стоп-кран 163; *11* — выключатель управления ПВУ-2; *12* — реле давления 304-002; *13* — обратный клапан 3700; *14* — резервуар объемом 78 л; *15* — обратный клапан Э-175; *16* — редуктор 348-002; *17* — резервуар объемом 55 л; *18* — трехходовой кран Э-220; *19* — предохранительный клапан Э-216; *20* — обратный клапан Э-155; *21* — маслоотделитель Э-120; *22* — запасной резервуар объемом 78 л; *23* — фильтр 1-ФК; *24* — электрокомпрессор ЭК-7Б (на ЭР9П — ЭК-7В). На электропоездах ЭР2 с № 1028 применяется кран машиниста 395

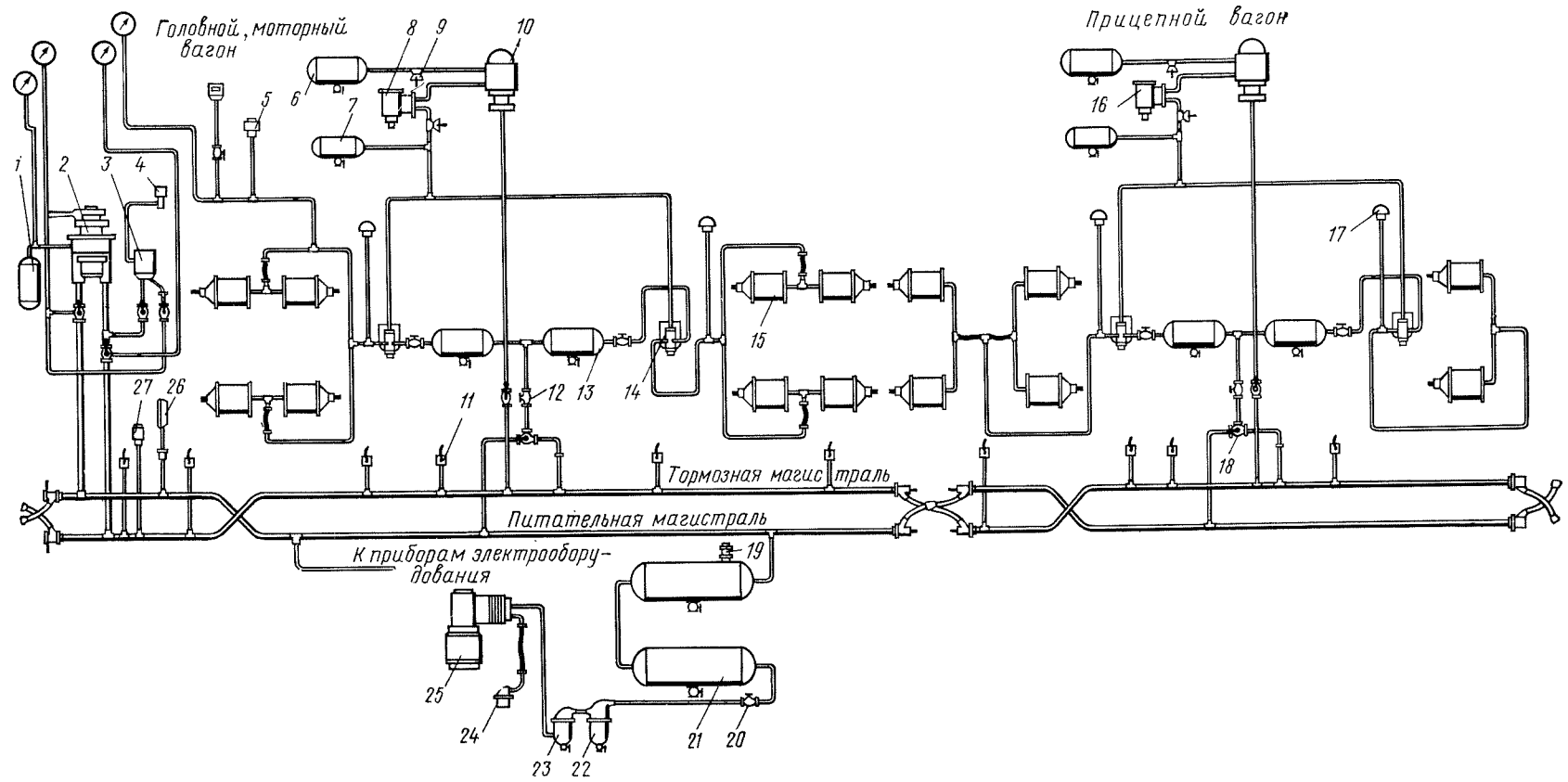


Рис. VI-7. Схема тормозного оборудования электропоезда ЭР22:

1 — уравнительный резервуар объемом 20 л; *2* — кран машиниста 394; *3* — ЭПК-150-1; *4* — вентиль ВВ-2Г-1; *5* — выключатель торможения Э-119В или ПВУ-4; *6* — запасной резервуар объемом 55 л; *7* — резервуар объемом 12 л; *8* — авторежим 265-003; *9* — выпускной клапан 31; *10* — электровоздухораспределитель 305-001 и воздухораспределитель 292-001; *11* — стоп-кран 163; *12* — обратный клапан 3700; *13* — резервуар объемом 78 л; *14* — реле давления 365 или 304-002; *15* — тормозной цилиндр 45; *16* — авторежим 265Б-004; *17* — сигнализатор отпуска 352А; *18* — трехходовой кран Э-220; *19* — предохранительный клапан Э-216; *20* — обратный клапан Э-155; *21* — главный резервуар объемом 170 л; *22* — сборник 116; *23* — маслоотделитель Э-120; *24* — фильтр 1-ФК; *25* — электрокомпрессор ЭК-7В; *26* — регулятора давления АК-11Б; *27* — автоматический выключатель управления Э-119Б или ПВУ-2

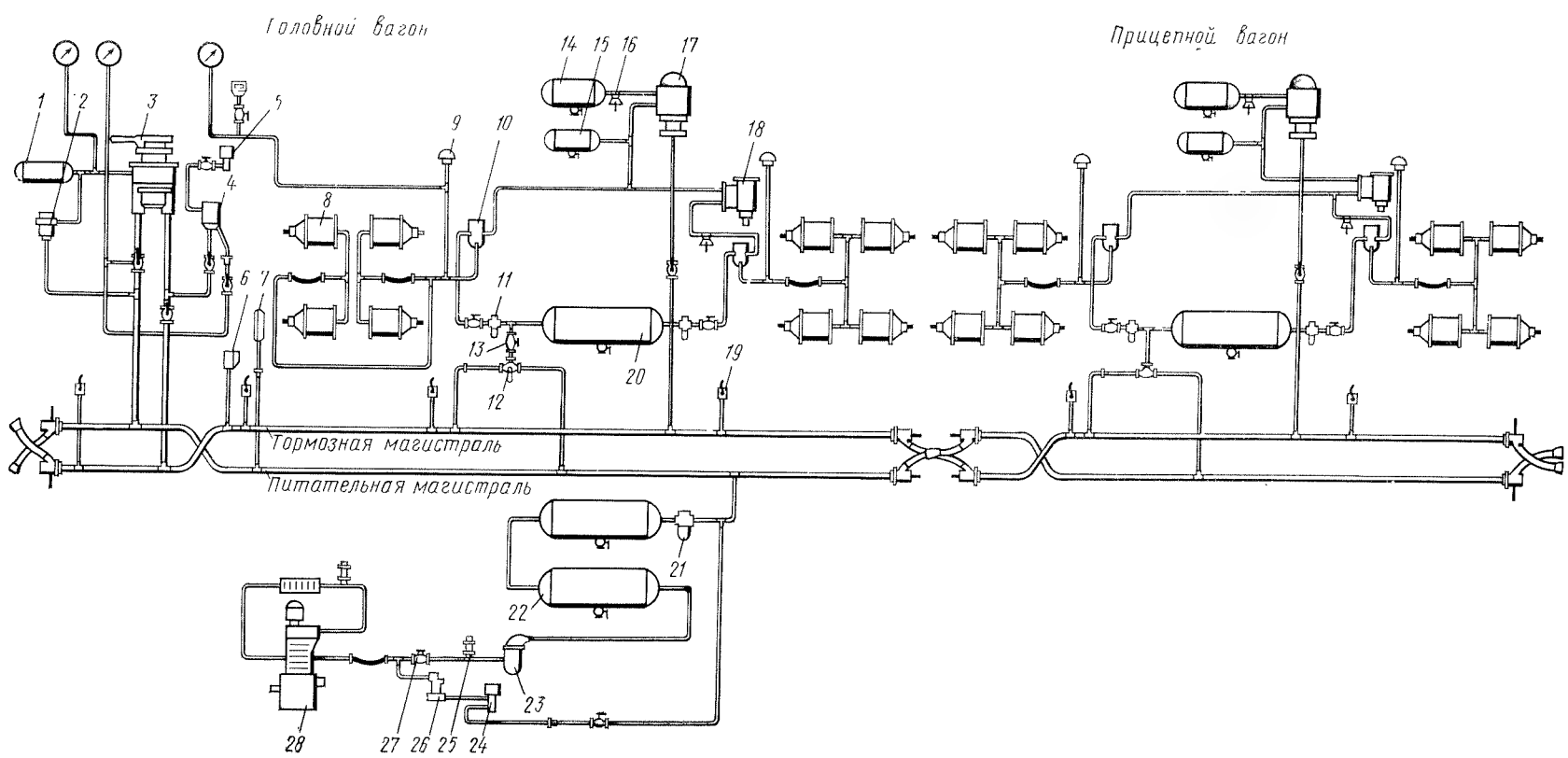


Рис. VI-8. Схема тормозного оборудования дизель-поезда ДР1П:

1 — уравнительный резервуар объемом 12 л; *2* — вентиль перекрыши ВП-47; *3* — кран машиниста 334 с контроллером ЕК-8АР-М; *4* — ЭПК-150; *5* — вентиль ВВ-32Ш; *6* — выключатель управления ПВУ-2; *7* — регулятор давления АК-11Б; *8* — тормозной цилиндр; *9* — сигнализатор отпуска 352А; *10* — реле давления 304-002; *11* — клапан максимального давления ЗМД; *12* — трехходовой кран Э-220; *13* — обратный клапан 3700; *14* — запасной резервуар объемом 55 л; *15* — резервуар объемом 8,2 л; *16* — выпускной клапан 31; *17* — электровоздухораспределитель 305-001 и воздухораспределитель 292-001; *18* — авторежим 265Б-004; *19* — стоп-кран 163; *20* — резервуар объемом 170 л; *21* — сборник 116; *22* — главный резервуар объемом 170 л; *23* — маслоотделитель Э-120; *24* — вентиль ВВ-34ш; *25* — предохранительный клапан Э-216; *26* — клапан холостого хода 527Б; *27* — обратный клапан 526; *28* — компрессор ВВ-1,5/9

VI-2. КОМПРЕССОРЫ

Характеристики компрессоров, области их применения и основные технические данные приведены в табл. VI-1 и VI-2, конструкция компрессоров показана на рис. VI-9—VI-12.

Таблица VI-1

Характеристика компрессоров и область их применения

Условное обозначение или тип	Характеристика	Область применения
Э-400	Двухцилиндровый горизонтальный одноступенчатый	На электросекциях $С^р$, $С^м$, $С^р_з$, электропоездах ЭР1 первых выпусков
Э-500 (см. рис. VI-9)	Двухцилиндровый горизонтальный двухступенчатый с промежуточным охлаждением	На электровозах ВЛ19, $ВЛ22^м$, ВЛ23, ВЛ41, $ВЛ60^р$, ВЛ60, $ВЛ60^м$, тепловозах ТГМ1
1КТ	Трехцилиндровый вертикальный двухступенчатый с промежуточным охлаждением	На тепловозах ТЭ1 и ТЭ2
КТ-6 (см. рис. VI-10)	Трехцилиндровый вертикальный двухступенчатый с промежуточным охлаждением, с приводом от двигателя	На тепловозах ТЭ3, ТЭП60, ТЭ7, ТЭМ1, ТЭМ2
КТ-6-ЭЛ	Трехцилиндровый вертикальный двухступенчатый с промежуточным охлаждением и с приводом от электродвигателя	На электровозах $ВЛ80^к$, ВЛ8, ВЛ10, ВЛ82 и тепловозе 2ТЭ116
КТ-7	Трехцилиндровый вертикальный двухступенчатый с промежуточным охлаждением с приводом от двигателя, но с вращением коленчатого вала, обратным компрессору КТ-6	На тепловозах ТЭ10, ТЭП10, 2ТЭ10, М62, 2ТЭ10Л
ВП $\frac{3-4}{9}$	Двухцилиндровый двухступенчатый с дифференциальными поршнями, с расположением цилиндров под 90°	На тепловозах ТГ102 с № 56, маневровых тепловозах ТГМ3А
ЭК-7Б (см. рис. VI-11)	Двухцилиндровый горизонтальный одноступенчатый с электродвигателем постоянного тока	На электропоездах (ЭР1, с № 69, ЭР2 и ЭР22) постоянного тока
ЭК-7В	То же с электродвигателем переменного тока	На электропоездах переменного тока (ЭР9П)
ВВ-0,7/8	Двухцилиндровый вертикальный одноступенчатый	На тепловозах серий ТГМ3, ТГК2, ТУ5, ТУ7, ТУ4
ВВ-1,5/9	Одноцилиндровый двухступенчатый с дифференциальными поршнями	На дизель-поездах ДР1 и ДР1П, тепловозах ТГ102 до № 55
К-2 (см. рис. VI-12)	Трехцилиндровый двухступенчатый с V-образным расположением цилиндров	На электровозах ЧС2, ЧС4 с № 89, ЧМЭ3 с № 211
К-1 «Ковопол»	Двухцилиндровый двухступенчатый с V-образным расположением цилиндров и дифференциальными поршнями	На электровозах ЧС1, ЧС3, ЧС4 до № 88 и тепловозах ЧМЭ2 и ЧМЭ3 до № 210

Примечание. На электровозах серии Ф применяются компрессоры 244FR серии К-413.Р4.70А и на дизель-поездах Д и Д1 — компрессоры МК-135.

Таблица VI-2

Основные технические данные компрессоров

Показатели	Полтавский турбомеханический завод (ПТМЗ)				Первомайский тормозной завод (ПТЗ)			
	ПК-5,25	ПК-3,5	КТ-6, КТ-7	Э-500	ПК-35	ВП $\frac{3-4}{9}$	ВВ-1,5/9	ЭК-7Б, ЭК-7В
Номинальная производительность, $м^3$/мин	5,25	3,5	5,3	1,75	3,5	3,0	1,5	0,6
Давление нагнетания, $кгс/см^2$	9	9	9	9	9	9	9	8
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	1450	1450	850	200	1450	1000	1100	540—560
Количество ступеней сжатия	2	2	2	2	2	2	2	1
Расположение цилиндров	V	V	W	Горизонтальное	V	V	Вертикальное	Горизонтальное
Количество цилиндров:								
I ступени	3	2	2	1	1	2	1	1
II »	3	2	1	1	1	Дифференциальный	Дифференциальный	—
Диаметр цилиндров, мм:								
I ступени	140	140	198	245	190	185	185	112
II »	80	80	155	140	110	152	152	—
Ход поршня, мм	98	98	I ст. 144, 153 II ст. 146	225	110	80	80	92
Масса компрессора, кг	310	200	646	670	380	344	238	118
» на 1 $м^3$/мин, кг	59	57	122	384	108	114	159	197
Габаритные размеры, мм:								
длина	805	625	760	1426*	660	526	526	1056*
ширина	835	835	1320	1299	850	1071	462	702*
высота	670	670	1105	629	980	1070	1070	505*
Потребляемая мощность, кВт	37	28	44	15	32	25,7	13,3	5,0
Потребляемая мощность на 1 $м^3$/мин, кВт	7,0	8,0	8,3	8,6	9,4	7,35	7,6	8,34

* Габаритный размер дан вместе с электродвигателем.

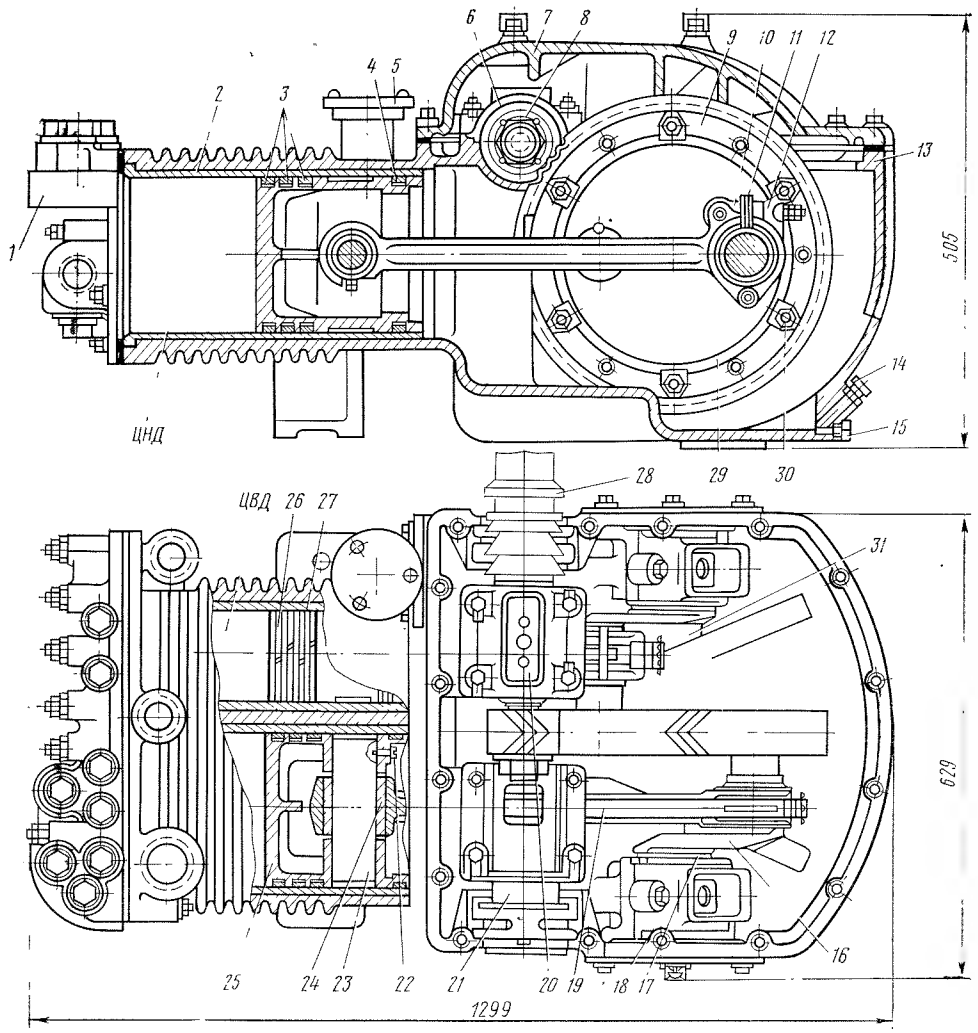


Рис. VI-9. Компрессор Э-500:

1 — клапанная коробка; *2, 27* — чугунные гильзы, запрессованные в блок цилиндров; *3* — компрессионные кольца; *4* — маслосъемное кольцо; *5* — сапун; *6, 18, 20* — крышки подшипников; *7* — крышка корпуса; *8* — ведущая шестерня; *9* — ведомая шестерня; *10* — болт шарнирный; *11* — прокладки; *12* — крышка откидная; *13* — корпус; *14, 15* — заглушки для залива и спуска масла; *16, 31* — коленчатый вал; *17* — подшипник; *19* — шатун; *21* — маслоотбойное кольцо; *22* — стопорный винт; *23* — палец; *24* — втулка; *25, 26* — поршни; *28* — якорный вал; *29* — диск ведомой шестерни; *30* — болты с шайбами

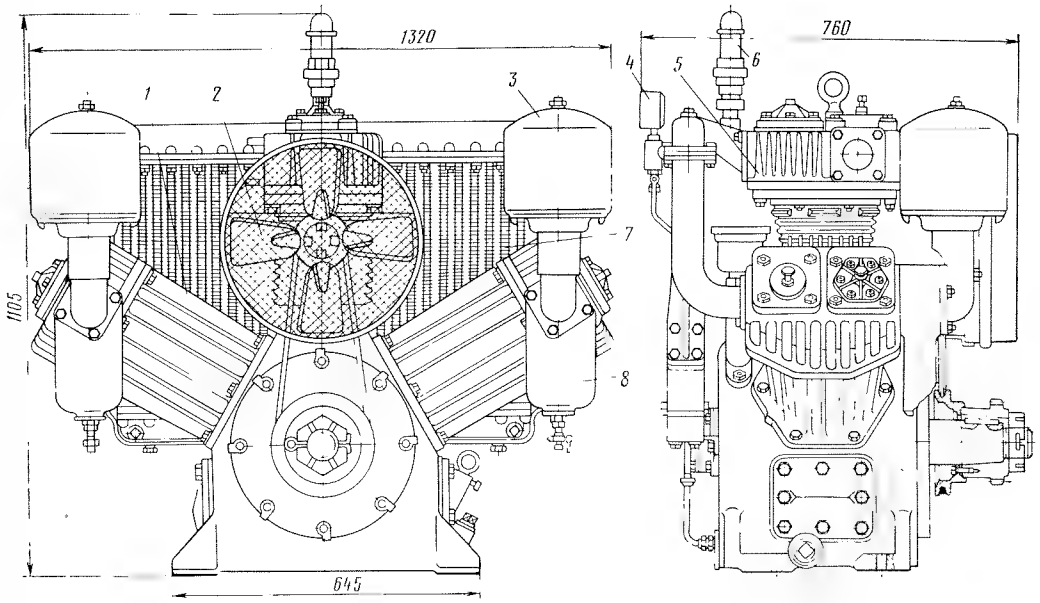


Рис. VI-10. Компрессор КТ-6:

1 — цилиндр низкого давления; *2* — вентилятор; *3* — воздушный фильтр; *4* — масляный манометр; *5* — цилиндр высокого давления; *6* — предохранительный клапан холодильника; *7* — холодильник; *8* — маслоотделитель (на вновь выпускаемых компрессорах не ставится)

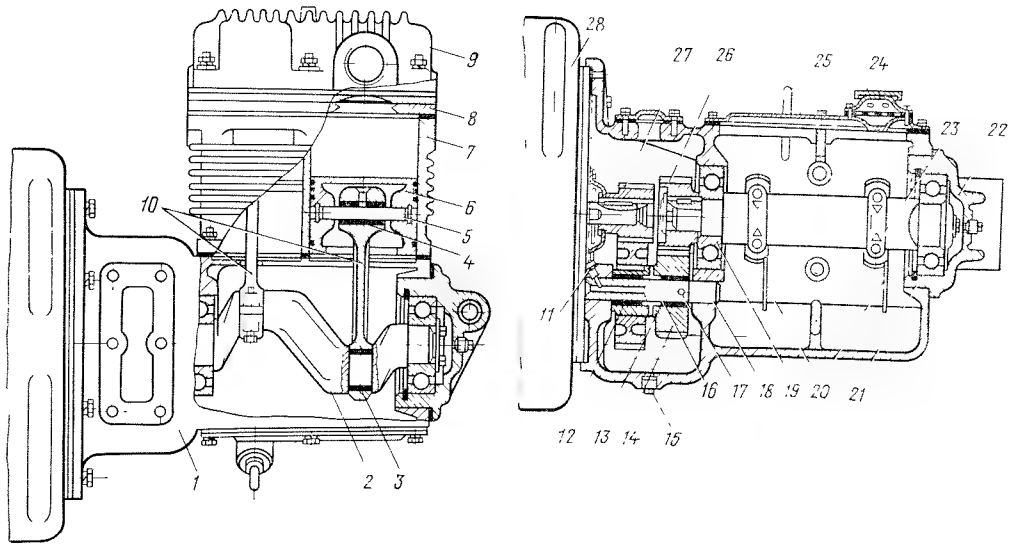


Рис. VI-11. Компрессор ЭК-7Б:

1 — картер; *2* — коленчатый вал; *3* — разъемный подшипник; *4* — втулка; *5* — поршневой палец; *6* — поршень; *7* — блок цилиндров; *8* — промежуточная часть с самопружинящими ленточными клапанами; *9* — крышка; *10* — шатуны; *11* — стопорный винт; *12, 13* — втулки; *14, 26, 27* — блок шестерен редуктора; *15* — пробка; *16* — эксцентриковая ось шестерен; *17* — масляный канал; *18* — опорная шейка оси; *19, 21* — шариковые подшипники; *20* — разбрызгиватели; *22, 25* — крышки; *23* — откидная крышка подшипника; *24* — сапун; *28* — электродвигатель

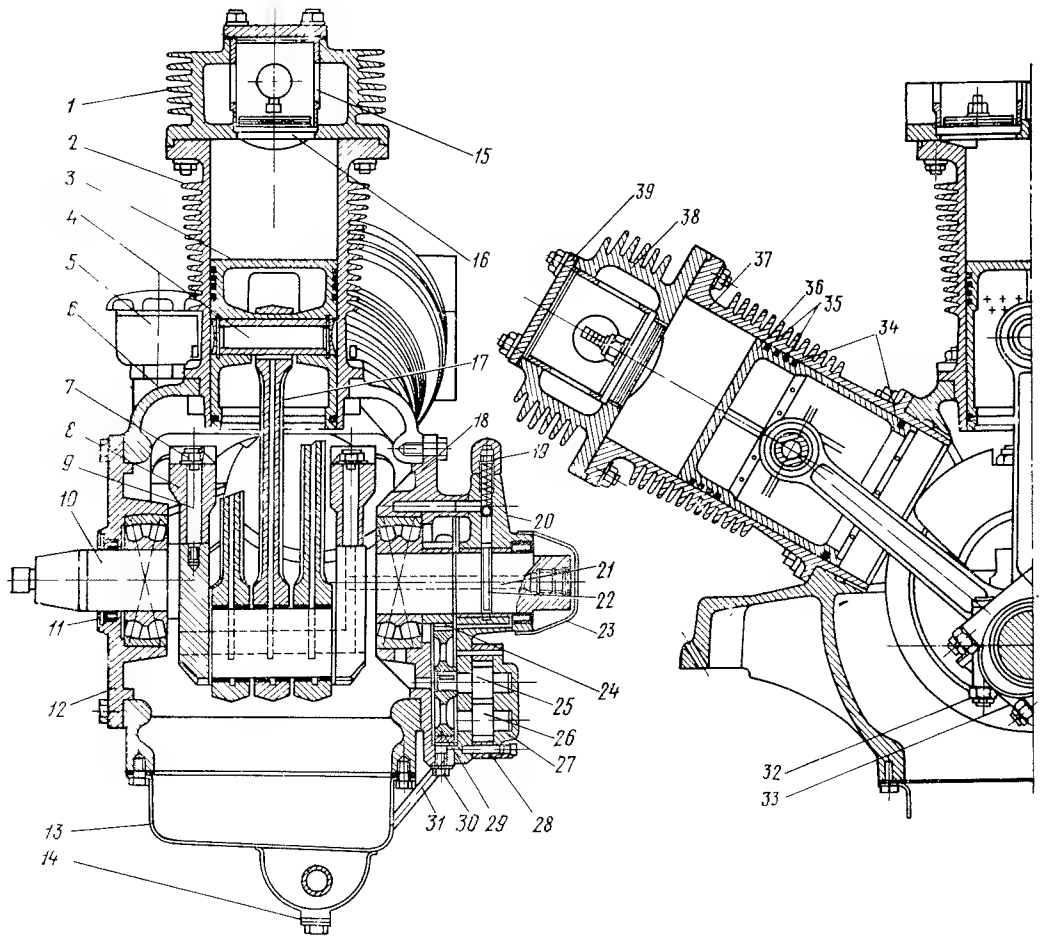


Рис. VI-12. Компрессор К-2:

1, 38 — клапанные коробки; *2, 37* — цилиндры; *3, 36* — поршни; *4* — поршневой палец; *5* — сапун; *6* — корпус; *7* — корончатая гайка; *8* — противовес; *9* — шпилька; *10* — коленчатый вал; *11* — сальник; *12, 18* — крышки; *13* — масляная ванна; *14, 30* — пробки; *15* — стакан клапана; *16* — клапан пластинчатый; *17* — шатун; *19* — предохранительный клапан масляного насоса; *20* — корпус масляного насоса; *21* — сверления для масла; *22* — выточка; *23* — предохранительный кожух; *24, 25, 26, 29* — блок шестерен; *27* — крышка; *28* — промежуточный фланец; *31* — патрубок; *32* — болт шарнирный; *33* — крышка подшипника; *34* — маслосъемные кольца; *35* — компрессионные кольца; *39* — крышка

VI-3. ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Характеристики кранов машиниста и их основные технические данные приведены в табл. VI-3 и VI-4, конструкция кранов машиниста показана на рис. VI-13—VI-15.

Характеристика крана усл. № 254 вспомогательного тормоза локомотива (рис. VI-16):

Количество положений ручки крана	6
Пределы регулировки	2—6 кгс/см²
Давление в тормозном цилиндре в тормозных положениях ручки крана:	
I ступень	1,1—1,3 кгс/см²
II »	1,7—2,0 »
III »	2,7—3,0 »
IV » (крайнее тормозное)	3,7—4,0 »
Время наполнения тормозных цилиндров до 3,0 кгс/см², не более . .	4 с
Время выпуска воздуха из тормозных цилиндров с 3,5 до 0,5 кгс/см², не более	13 с
Габаритные размеры .	210×133×310 мм
Масса	10,8 кг

Таблица VI-3

Характеристика кранов машиниста и область их применения

Условный номер	Характеристика крана	Область применения
394 (см. рис. VI-13)	Кран золотниково-поршневой конструкции с шестью положениями ручки, стабилизатором и объемом уравнительного резервуара 20 л имеет два положения перекрыши: положение III с непрямодействующей перекрышей и IV — с прямодействующей*	На грузовых локомотивах и электропоездах ЭР22
222	То же, но без стабилизатора. Уравнительный резервуар объемом 8,2 л	То же. В настоящее время происходит модернизация крана (резервуар времени заменяют стабилизатором, а уравнительный резервуар 8,2 л на 20 л)
395 (см. рис. VI-14)	Кран золотниково-поршневой конструкции с семью положениями ручки. Отличается от крана усл. № 394 наличием контроллера и положения VЭ, при котором происходит электропневматическое торможение без разрядки тормозной магистрали	На пассажирских локомотивах и дизель-поездах. В кранах выпуска с 1974 г. в положении VA происходит разрядка магистрали
328	То же, что и кран усл. № 395, но без стабилизатора. Уравнительный резервуар имеет объем 8,2 л	На пассажирских локомотивах
334-Э (см. рис. VI-15)	Кран золотниково-поршневой конструкции с редуктором усл. № 348-002 и контроллером усл. № ЕК-8АР. Ручка крана имеет шесть положений. Два поездных положения: IIA — отпускные вентили обесточены и II — отпускные вентили под током	На электроподвижном составе (кроме электропоездов серии ЭР22) и дизель-поездах ДР1

* С 1972 г. в кранах усл. № 394 введено положение VA с разрядкой уравнительного резервуара через отверстие диаметром 0,75 мм темпом с 5 до 4,5 кгс/см² за 15—20 с. Кран имеет усл. № 394-000-2.

Кран машиниста усл. № 222 со стабилизатором имеет усл. № 222М.

Таблица VI-4

Основные технические данные кранов машиниста

Показатели	Краны машиниста		
	усл. № 394	усл. № 395	усл. № 334-Э
Количество фиксированных положений ручки крана	6*	7	6
Пределы регулирования давления, кгс/см² .	3—7	3—7	3—7
Рабочее напряжение на контроллере, В . . .	—	50	50
Объем уравнительного резервуара, л	20	20	12
Диаметр поршня, мм	100	100	88,9
» золотника, мм	82	82	80,5
Время зарядки магистрали объемом 55 л:			
с положения I до 5 кгс/см²	1,5	1,5	3,5
» II » 4,8 »	3,0	3,0	16
Время разрядки магистрали объемом 55 л:			
с 5 до 4 кгс/см² при ПСТ*²	4—5	4—5	5
» 5 » 1 » » ЭТ*³	2—3	2—3	1,5
Время разрядки магистрали объемом 455 л с 5 до 4 кгс/см² при ПСТ, с	7,5	7,5	9
Масса, кг	22,2	23,9	16
Габаритные размеры, мм	363×269×353	363×269×380	319×305×241

* с 1972 г — 7 (добавляется положение VA).
*² ПСТ — полное служебное торможение.
*³ ЭТ — экстренное торможение.

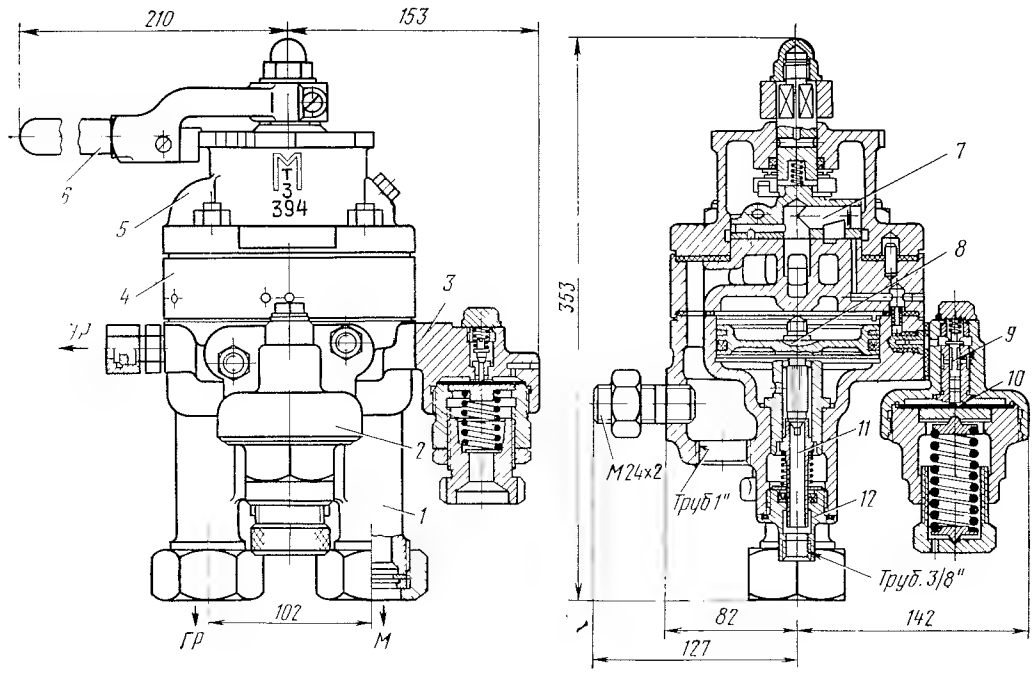


Рис. VI-13. Кран машиниста усл. № 394:

1 — корпус (нижняя часть); *2* — редуктор; *3* — стабилизатор; *4* — средняя часть — зеркало золотника; *5* — крышка; *6* — ручка; *7* — золотник; *8* — уравнительный поршень с манжетным и кольцевым уплотнением; *9* — возбудительный клапан; *10* — металлическая диафрагма; *11* — впускной и выпускной клапан; *12* — цоколь с резиновой манжетой; *УР* — отвод к уравнительному резервуару объемом 20 л; *ГР* — отвод к питательной магистрали; *М* — отвод к тормозной магистрали

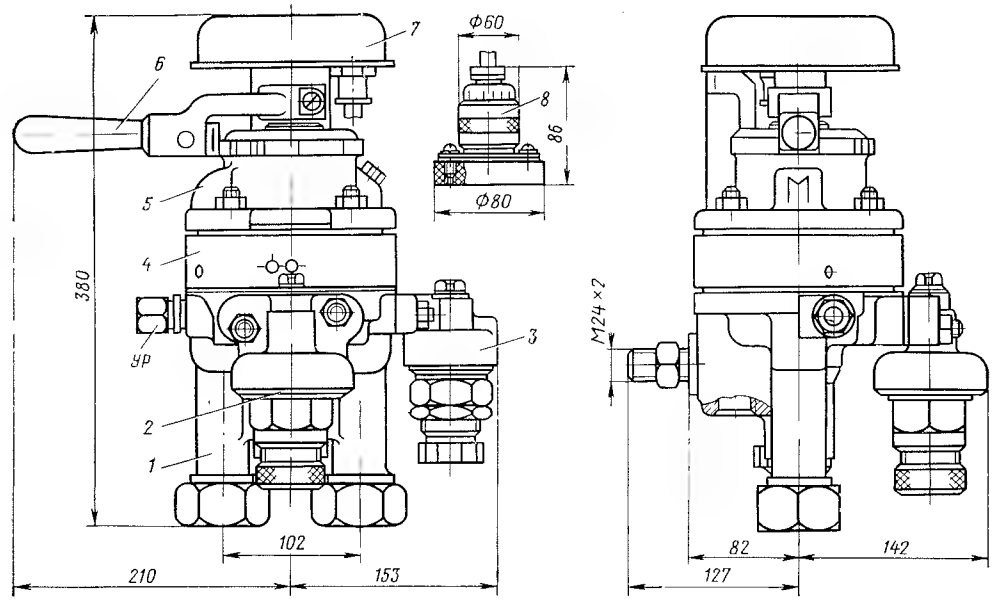


Рис. VI-14. Кран машиниста усл. № 395:

1 — корпус; *2* — редуктор; *3* — стабилизатор; *4* — средняя часть; *5* — крышка с кронштейном для крепления контроллера; *6* — ручка; *7* — контроллер с микропереключателями; *8* — штепсельный разъем 354

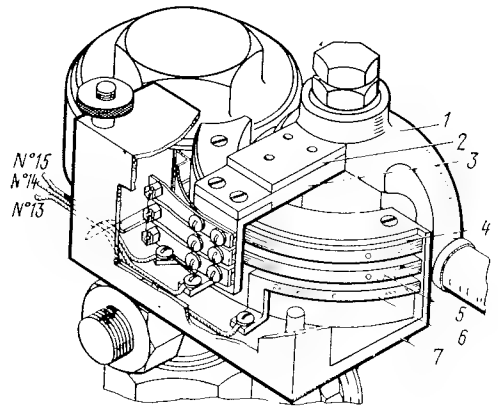


Рис. VI-15. Кран машиниста усл. № 334Э с контроллером ЕК-8АР:

1 — ручка крана; *2* — поводок; *3* — изоляционный рычаг; *4, 5, 6* — сегменты с проводами № 15, 14 и 13; *7* — корпус контроллера

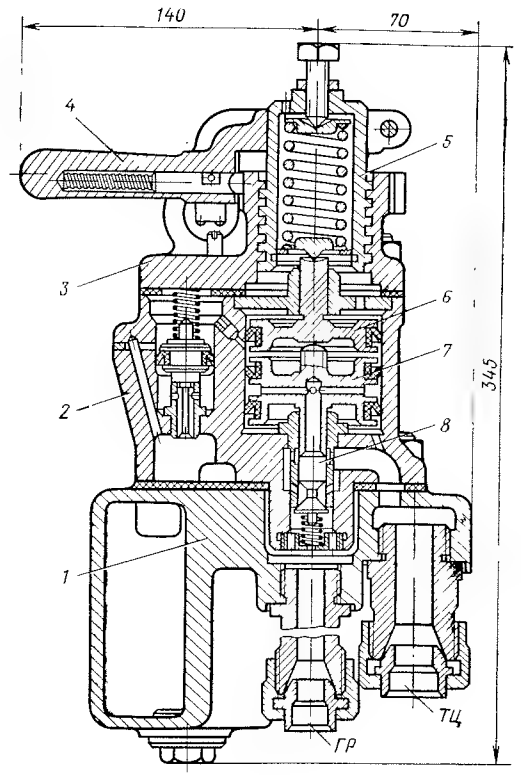


Рис. VI-16. Кран усл. № 254 вспомогательного тормоза локомотива:

1 — плита с камерой объемом 0,3 л; *2* — корпус; *3* — крышка; *4* — ручка; *5* — стакан с ленточной резьбой; *6* — верхний поршень с манжетой; *7* — двойной поршень с манжетами; *8* — двухседельный клапан; *ТЦ* — отвод к тормозным цилиндрам; *ГР* — отвод к питательной магистрали

VI-4. ПРИБОРЫ ТОРМОЖЕНИЯ

Характеристики приборов торможения, их основные технические данные и величины давления в тормозных цилиндрах при авторежиме в зависимости от загрузки вагона приведены в табл. VI-5—VI-9, а конструкция приборов торможения показана на рис. VI-17—VI-20.

Таблица VI-5

Характеристика воздухораспределителей и область их применения

Условный номер	Характеристика	Область применения
292-001 (см. рис. VI-17)	Автоматический непрямодействующий с тремя режимами: К — для поездов нормальной длины; Д — для длинносоставных поездов; УВ — с выключенным ускорителем экстренного торможения	На пассажирских локомотивах, электросекциях, электропоездах, дизель-поездах и пассажирских вагонах
270-002 (см. рис. VI-18) и 270-005-1 (см. рис. VI-19)	Автоматический прямодействующий с равнинным и горным режимами и тремя грузовыми: порожним (П), средним (С) и груженым (Г)	На грузовых локомотивах и вагонах
МТЗ-135	Автоматический прямодействующий с пассажирским, равнинным, горным режимами и с тремя грузовыми: порожним (П), средним (С) и груженым (Г)	На локомотивах ВЛ19, ВЛ22м, ТЭ1, ТЭ2, ТЭ3, ТЭМ1 и др. постройки до 1960 г.
305-000 (рис VI-20, *а*)	Электропневматический по двухпроводной электрической схеме (рис. VI-20, *б*)	На пассажирских локомотивах и вагонах
305-001	Электропневматический по четырехпроводной электрической схеме (рис. VI-20, *в*)	На электроподвижном составе и дизель-поездах

Примечание. Электропневматические воздухораспределители усл. № 305-000 и 305-001 применяют совместно с воздухораспределителем усл. № 292-001.

Таблица VI-6

Основные технические данные воздухораспределителей

Показатели	Воздухораспределители		
	Усл. № 292-001	Усл. № 270-002	Усл. № 270-005-1
Диаметр магистрального поршня, мм	88,7	82	—*
Диаметр главного поршня, мм	—	110	110
Ход магистрального поршня, мм:			
при ПСТ	17	10	6*3
при ЭТ	24	16	6*3
Ход главного поршня, мм	—	23	23
Время зарядки запасного резервуара объемом 78 л до давления 4,8 кгс/см², с	130—160	280—300	280—330
Время наполнения тормозного цилиндра до 3,5 кгс/см² при ЭТ, с	5—7 (12—16)*	13—18	13—18
Время отпуска после полного торможения с начала выпуска до давления 0,4 кгс/см², с	9—12 (19—24)*	15—25	15—25
Скорость распространения тормозной волны, м/с:			
при ПСТ	160	160	190
при ЭТ	190	200	220
Давление в тормозном цилиндре, кгс/см², в режиме:			
порожнем	3,8—4,0	1,4—1,8	1,4—1,8
среднем	—*2	2,0—3,0	Не менее 2,4
груженом	—*2	3,8—4,3	3,8—4,3
Габаритные размеры, мм	283×162×280	600×285×400 (с камерой)	690×285×400 (с камерой)
Масса съемных частей, кг	22,5	12+12	12+12
» камеры усл. № 295-001, кг	—	32	32

* В скобках дано время для режимов Д и УВ.
*2 Зависит от объема тормозного цилиндра.
*3 Диафрагма.

Таблица VI-7

Основные технические данные электропневматических воздухораспределителей

Показатели	Электровоздухораспределители	
	Усл. № 305-000	Усл. № 305-001
Номинальное напряжение постоянного тока, В	50	50
Сопротивление катушки, Ом	360^{+2}_{-4}	360^{+2}_{-4}
Ток катушки, А	0,138	0,138
Номинальная мощность, Вт	6,95	6,95
Время наполнения тормозного цилиндра до 3,5 кгс/см², с	2,5—3,5	2,5—3,5
Время выпуска воздуха из тормозного цилиндра до 0,4 кгс/см², с	8—10	3,5—4,5
Диаметр калиброванного отверстия в седле отпускного клапана, мм	1,3	2,0
То же в седле тормозного клапана, мм	1,8	1,8
Ход резиновой диафрагмы вниз из среднего положения, мм	2,4—3,0	2,4—3,0
Ход якоря тормозного и отпускного вентилей, мм	1,1—1,2	1,1—1,2
Габаритные размеры, мм	392×228×290	392×228×290
Масса (с камерой), кг	33	33

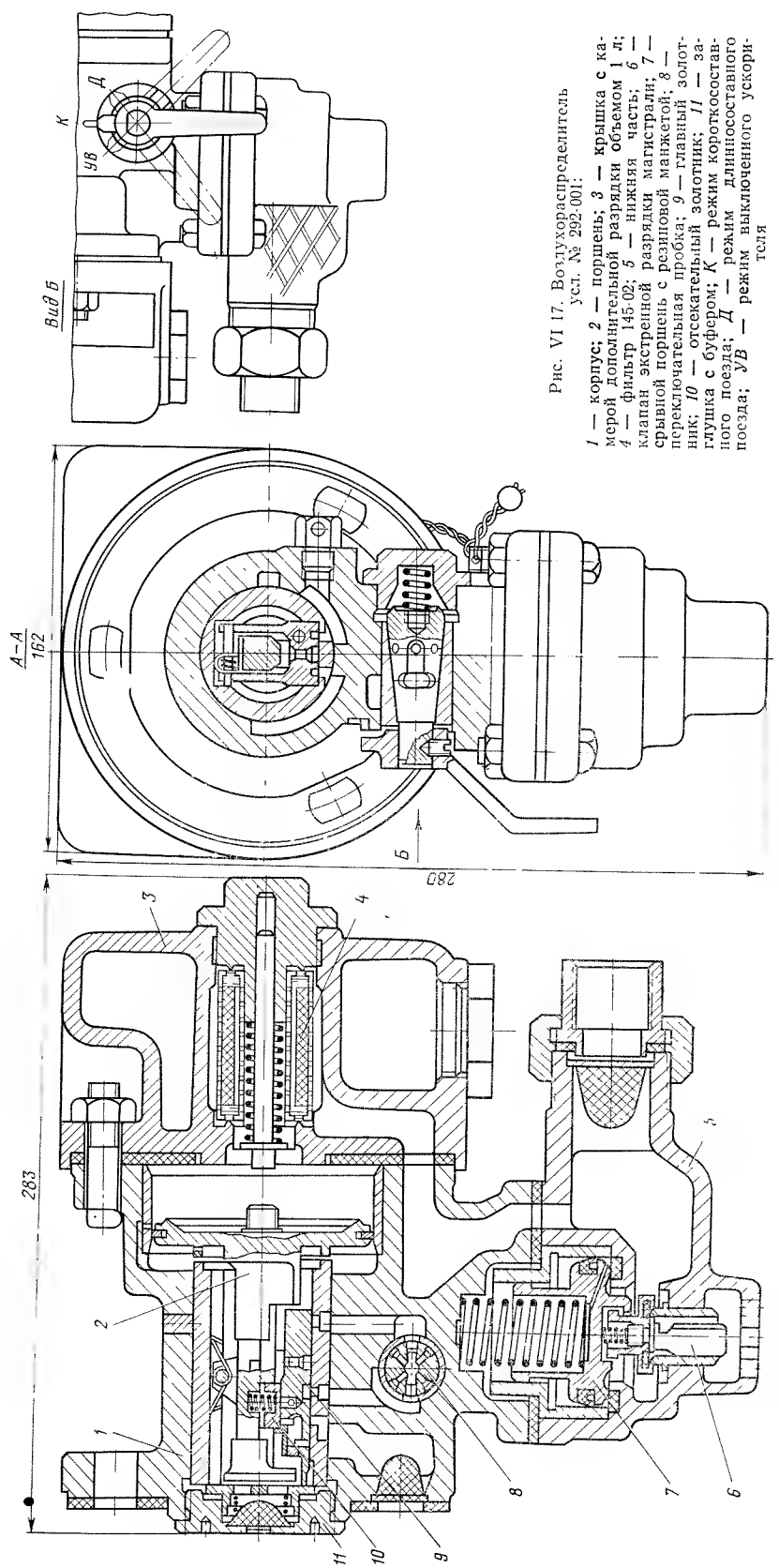


Рис. VI 17. Воздухораспределитель усл. № 292-001:

1 — корпус; *2* — поршень; *3* — крышка с камерой дополнительной разрядки объемом 1 л; *4* — фильтр 145-02; *5* — нижняя часть; *6* — клапан экстренной разрядки магистрали; *7* — срывной поршень с резиновой манжетой; *8* — переключательная пробка; *9* — главный золотник; *10* — отсекательный золотник; *11* — заглушка с буфером; *К* — режим короткосоставного поезда; *Д* — режим длинносоставного поезда; *УВ* — режим выключенного ускорителя

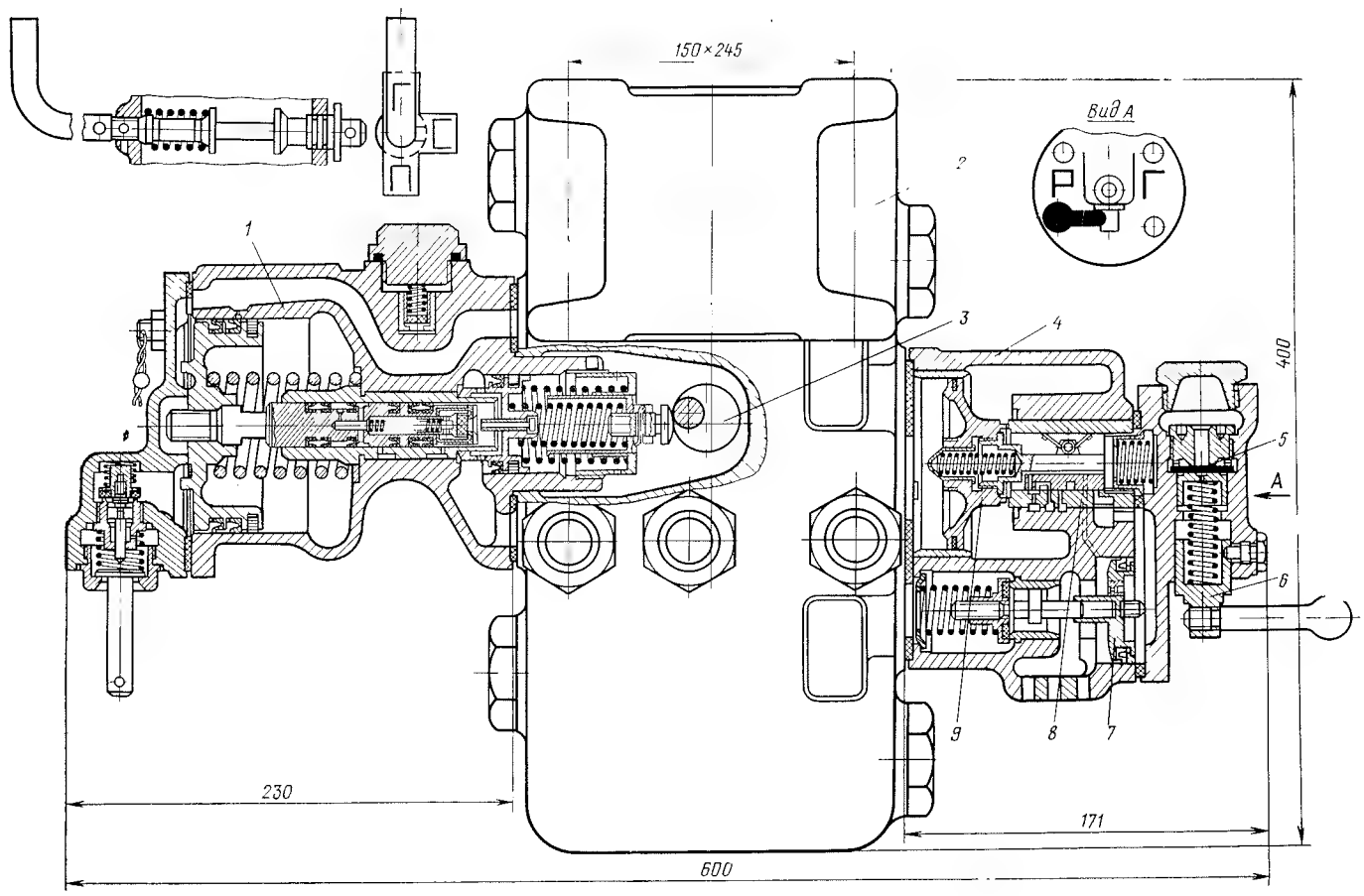


Рис. VI-18. Воздухораспределитель усл. № 270 002:

1 — главная часть 270-023; *2* — двухкамерный резервуар 295 001; *3* — эксцентриковый переключатель грузовых режимов (*Г, С, П*); *4* — корпус магистральной части 270-053; *5* — диафрагма; *6* — упорка переключателя равинного и горного режимов; *7* — поршень с отверстием диаметром 0,75 мм; *8* — золотник; *9* — магистральный поршень

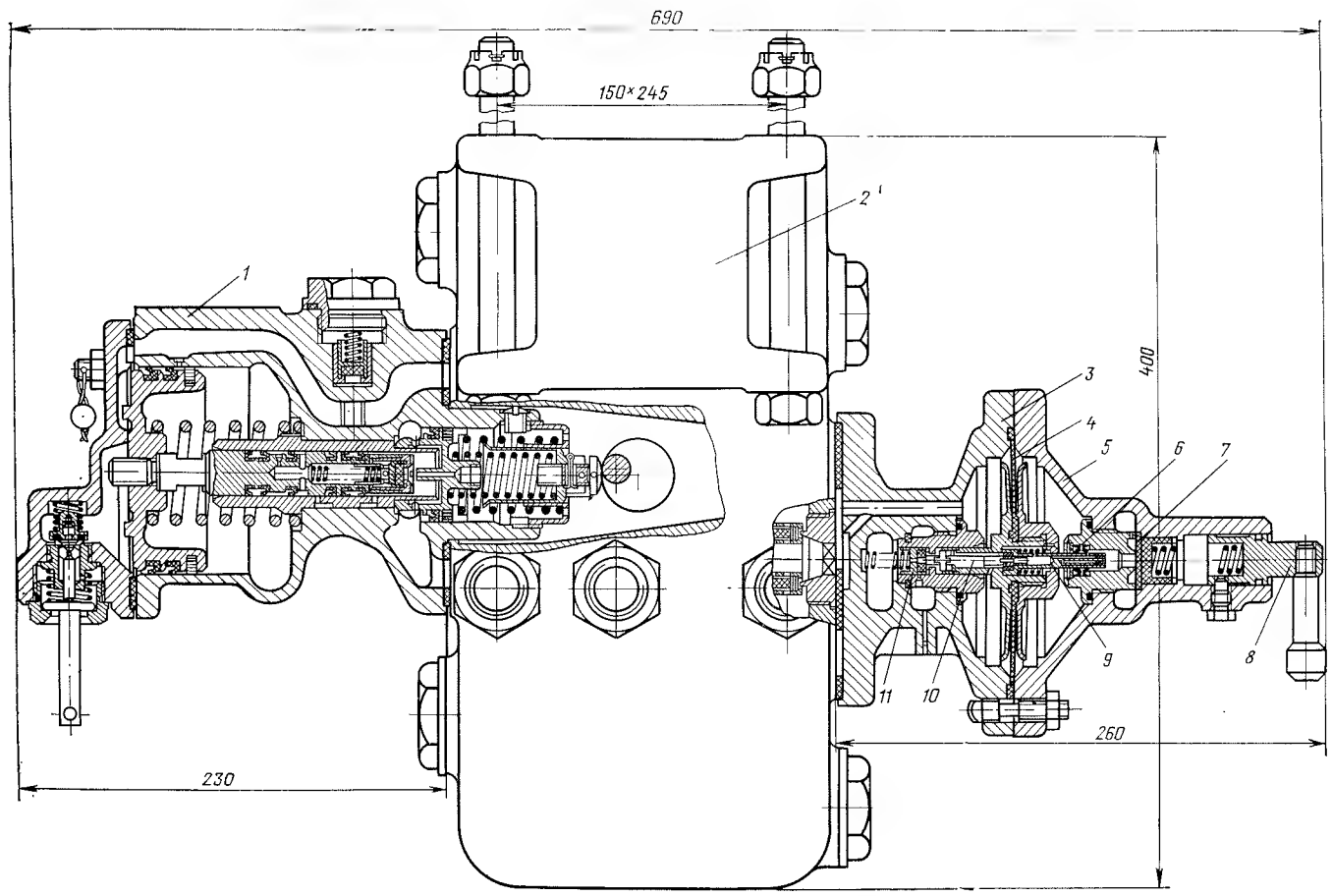


Рис. VI-19. Воздухораспределитель усл. № 270 005 1:

1 — главная часть 270-023; *2* — двухкамерный резервуар 293-001; *3* — корпус магистральной части 270-1000; *4* — диафрагма с шайбами; *5* — крышка; *6* — манжеты плунжера; *7* — диафрагма; *8* — упорка переключателя равинного и горного режимов; *9* — плунжер; *10* — толкатель; *11* — клапан дополнительной разрядки магистрали

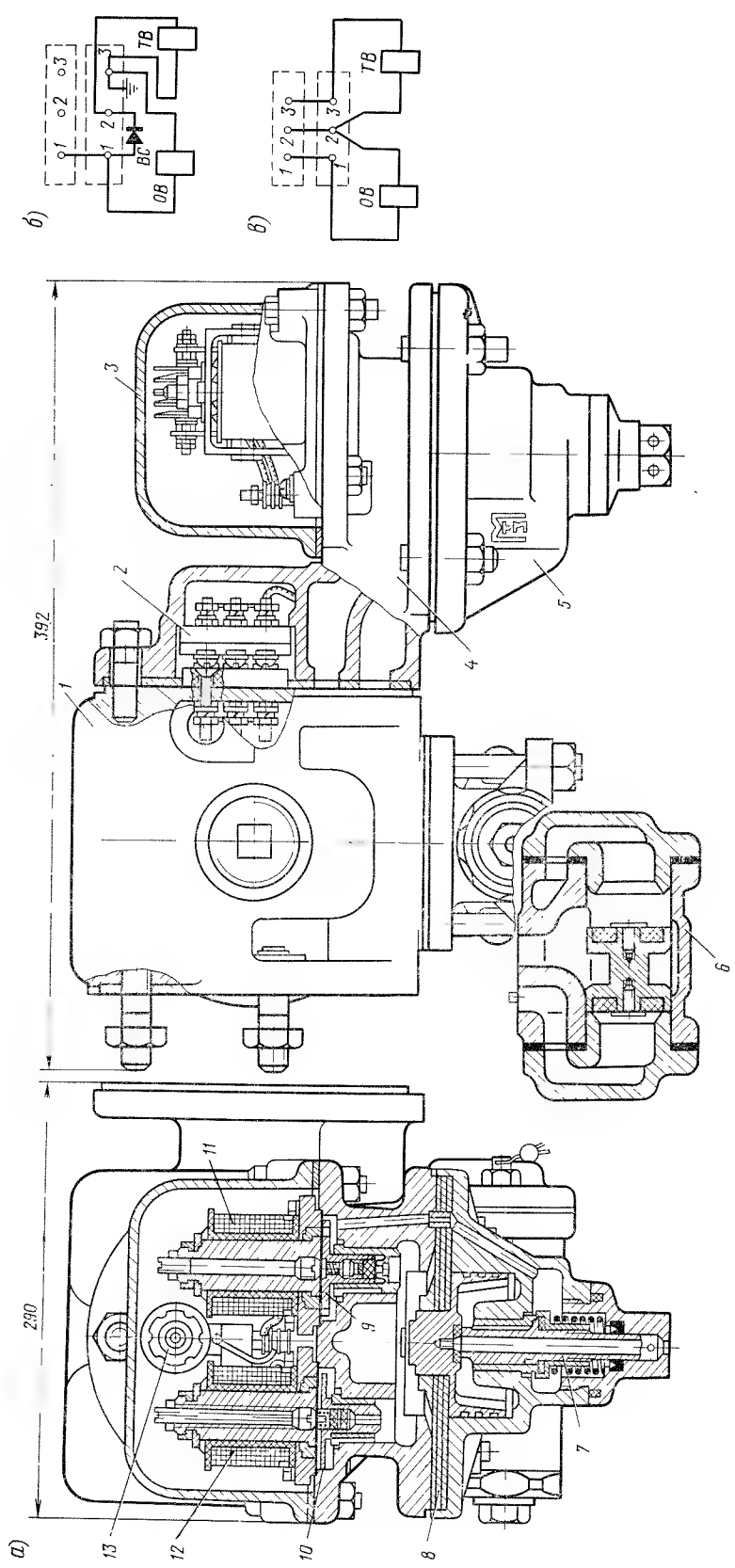


Рис. VI-20. Электровоздухораспределитель 305-000 (*а*), его электрическая схема (*б*) и электрическая схема электровоздухораспределителя 305-001 (*в*):
1 — камера; *2* — клеммные колодки; *3* — крышка; *4* — электрическая часть; *5* — пневматическое реле; *6* — переключательный клапан; *7* — впускной и выпускной клапаны; *8* — диафрагма; *9* — якорь тормозного вентиля; *10* — якорь отпускного вентиля; *11* — катушка тормозного вентиля; *12* — катушка отпускного вентиля; *13* — селеновый выпрямитель

Таблица VI-8

Характеристики пневматических выключателей управления ПВУ-2, ПВУ-3 и ПВУ-4

Тип выключателя	Взамен аппарата	Пределы регулировки, кгс/см²	
		на включение	на выключение
ПВУ-2	Э-119Б	4,5—4,8	2,7—2,9
ПВУ-3	РДЗ	3,0—3,5	Не ниже 0,5
ПВУ-4	Э-119В	0—0,4	1,8—2,0

Примечание. Номинальное напряжение 110 В. **Длительный ток контактов 35 А. Ход** поршня 5—6 мм. Рабочее давление до 5,5 кгс/см². Масса 3,5 кг.

Таблица VI-9

Величины давления в тормозных цилиндрах при авторежиме в зависимости от загрузки вагона (прогиба рессор)

Загрузка вагона, %	Прогиб рессор, мм	Давление воздуха в тормозном цилиндре в кгс/см² при авторежиме		
		Усл. № 265-003 на электропоездах		Усл. № 265Б-004 на дизель-поездах (зарядное давление 5,5—5,6 кгс/см²)
		ЭР1, ЭР2	ЭР22	
0	0	2,8	2,9	2,6
20	8	3,1	3,1	3,0
40	16	3,4	3,5	3,4
60	24	3,7	3,8	3,8
80	32	4,0	4,0	4,2
100	40	4,2	4,0	4,2

Характеристика электроблокировочного вентиля КЭ-44 (Э-104Б):

Диаметр цилиндра в корпусе:	
малый	32 мм
большой	52 »
Номинальное напряжение	50 В
Минимальный ток срабатывания вентиля . .	0,095 А
Давление в магистрали при переключении на пневматическое торможение	2,5 кгс/см²
Габаритные размеры .	255×167×129 мм
Масса	5,4 кг

Характеристика автоматического выключателя управления (АВУ) усл. № Э-119Б и Э-119В:

Диаметр цилиндрической части корпуса . .	40 мм
Ход поршня	7 »
Давление в магистрали при включении цепи управления:	
усл. № Э-119Б (на магистральной трубе)	4,0—4,2 или 4,5—4,8 кгс/см²
усл. № Э-119В (на трубе к тормозным цилиндрам) . . .	0—0,4 »
Выключение цепи управления при давлении:	
усл. № Э-119Б (на магистральной трубе)	2,7—2,9 »
усл. № Э-119В (на трубе к тормозным цилиндрам) . . .	выше 2,0 »
Номинальное напряжение	50 В

Габаритные размеры .	225×125×110 мм
Масса	3,3 кг

Характеристика авторежима усл. № 265-003 с постоянным контактом, клапанно-поршневой конструкции:

Диаметр цилиндра демпфера	110 мм
Диаметр отверстия в поршне демпфера . . .	0,5 »
Диаметр цилиндра нижнего и верхнего поршней	60 »
Ход демпферного поршня	39—40 мм
Ход верхнего поршня	5 »
Время перемещения демпферного поршня в крайнее нижнее положение	20—45 с
Среднее давление в тормозном цилиндре при режиме:	
порожнем	2,6 (2,8) кгс/см²
груженом	3,8 (4,3) »
Габаритные размеры .	285×387×229 мм
Масса	23,3 кг

В скобках — для электропоездов ЭР1 при зарядном давлении в магистрали 5,5 кгс/см².

VI-5. КРАНЫ, КЛАПАНЫ И РЕЗЕРВУАРЫ

Основные технические данные кранов и клапанов приведены в табл. VI-10 и VI-11, усилия пружин тормозных цилиндров в сборе и зависимость объема цилиндра от хода поршня — в табл. VI-12, характеристика резервуаров для автотормозов — в табл. VI-13.

Таблица VI-10

Основные технические данные кранов

Наименование и условное обозначение	Тип крана	Назначение	Характеристика
Концевой, 190	Клапанный	Для включения и выключения магистральных воздухопроводов, выведенных на буферный брус	Проходное сечение 1¼″. Отводы с резьбой труб. 1¼″×труб 1½″. Атмосферное отверстие диаметром 6 мм
Комбинированный, 114	Пробковый	Для отключения крана машиниста от тормозной магистрали и для экстренной разрядки магистрали	Проходные сечения в пробке 8×33 и 6,5×9,5×33 мм. Отводы с резьбой труб. 1″×труб. 1¼″ Отвод к манометру с резьбой труб¼″
Двойной тяги, 377	»	Для отключения крана машиниста от главного резервуара, для включения и отключения тормозных приборов, а на электроподвижном составе для отключения крана машиниста от тормозной магистрали	Проходное сечение в пробке 12×16×38 мм. Отводы с резьбой труб. 1″×труб. 1¹¹/₄″. Отвод к манометру с резьбой труб. ¼″
Экстреннего торможения (стоп-кран), 163	Клапанный	Для приведения в действие тормозов с поезда в случае экстренной необходимости	Проходное сечение диаметром ¾″. В патрубке корпуса семь отверстий диаметром по 7 мм или шесть отверстий—по 8 мм
Разобщительный, 383	Пробковый	Для включения и выключения тормозных приборов	Проходное сечение в пробке 8×11×22,5 мм. Отводы с резьбой труб. ½″
Разобщительный, 379	»	То же	Проходное сечение в пробке 11×14×27 мм. Отводы с резьбой труб ¾″
Разобщительный, 372	»	Для включения и выключения воздухораспределителей 270-002 и 270-005-1	То же. Боковое атмосферное отверстие диаметром 4 мм
Трехходовой, 424	»	Для сообщения с источником сжатого воздуха и с атмосферой	
Трехходовой, Э-220	»	Для сообщения двух отростков с источником сжатого воздуха	Проходное сечение в пробке 7×10×22 мм. Отводы с резьбой труб ½″
Трехходовой, Э-195	»	Для сообщения двух отростков с источником сжатого воздуха и выпуска воздуха в атмосферу из третьего отростка	Проходное сечение в пробке 11×13×28 мм. Отвод с резьбой труб. ¾″
Водоспускной, 4360	»	Для продувки резервуаров и спуска конденсата	Проходное сечение в пробке диаметром 8 мм, Отводы с резьбой труб. ¹/₂″
Водоспускной, 1050	»	То же	Проходное сечение в пробке диаметром 5 мм. Отвод с резьбой труб. ¹/₄ и ³/₈″

Продолжение

Наименование и условное обозначение	Тип крана	Назначение	Характеристика
Водоспускной, 94	Пробковый	Для продувки резервуаров и спуска конденсата	Проходное сечение в пробке 7×12 мм. Отводы с резьбой М 20×1,5
Разобщительный, 4200	»	Для включения и выключения тормозных приборов	Проходное сечение в пробке диаметром 8 мм. Отводы с резьбой труб ¼″

Таблица VI-11

Основные технические данные клапанов

Наименование и условное обозначение	Назначение	Характеристика
Выпускной, 31	Для отпуска вручную отдельного тормоза. Устанавливается на запасном резервуаре или трубе к тормозному цилиндру	Проходное сечение диаметром 6 мм. Присоединительная резьба труб. ½″, коническая
Предохранительный, 216	Для предотвращения повышения давления сверх установленного в холодильнике компрессора или первой ступени сжатия	Проходное сечение диаметром 8 мм, присоединительная резьба труб. ½″. Атмосферное отверстие: 2×∅ 5,5 мм. Регулируется на давление 3,5—4 кгс/см². Пружина с жесткостью Ж=2,2÷2,5 кгс/мм
Предохранительный, Э-216	Для предотвращения повышения давления сверх установленного в главных резервуарах или питательной магистрали	Регулируется на давление 9—10 кгс/см². Пружина с Ж=4,7÷5,3 кгс/мм. Атмосферных отверстий восемь, диаметром по 8 мм
Обратный, Э-155А	Для разгрузки компрессора от противодавления воздуха из главного резервуара	Присоединительная резьба труб. 1¼″
Обратный, Э-155	Для разгрузки компрессора от противодавления воздуха из главных резервуаров	Присоединительная резьба труб. 1½″
Обратный, 526	Для разгрузки компрессора от противодавления воздуха из главных резервуаров	Присоединительные размеры резьбы ЗМ68×2
Обратный, Э-175	Для разобщения резервуара управления от питательной магистрали при падении в ней давления ниже 5 кгс/см²	Присоединительная резьба труб. ½″
Обратный с фильтром, 30Ф	Для зарядки сжатым воздухом главных резервуаров из магистрали при следовании локомотива в недействующем состоянии	Присоединительная резьба труб. ½″. Отверстие для зарядки диаметром 5 мм
Максимального давления, ЗМД и ЗМДА	Для ограничения максимального давления сжатого воздуха, поступающего из питательной магистрали в соответствующие устройства	Присоединительная резьба труб. ½″. Рабочее давление 3—6 кгс/см²
Обратный, 3700	Для пропуска воздуха только в заданном направлении, указанном стрелкой на корпусе	Присоединительная резьба: 3700 труб. ¾″ 3700А » 1″

Таблица VI-12

Основные технические данные пружин тормозных цилиндров в сборе и зависимость объема цилиндра от хода поршня

Условное обозначение тормозных цилиндров	Диаметр цилиндра, мм (дюймы)	Площадь поршня, см²	Усилие пружины, кгс		Давление в тормозном цилиндре (максимальное), кгс/см²		Объем тормозного цилиндра, л, при ходе поршня (с учетом мертвого пространства), мм		
			в отпущенном состоянии	при ходе поршня 125 мм	в конце перемещения на отпуск	в начале перемещения на торможение	100	125	150
511Б	203(8″)	324	126	235	0,25	0,5	3,84	4,75	5,56
507Б	254(10″)	506	126	235	0,25	0,3	6,06	7,32	8,6
504Б	305(12″)	730	159	240	0,20	0,3	9,0	10,83	12,64
503Б	330(13″)	855	104	282	0,1	0,2	10,55	12,69	14,82
188Б	356(14″)	994	159	240	0,2	0,3	12,14	14,63	17,1
519Б	400(16″)	1257	159	240	0,15	0,25	15,07	18,21	21,35

Примечание. При температуре —50° С и ниже указанные давления для перемещения поршня тормозного цилиндра могут изменяться в пределах ±0,05 кгс/см².

Таблица VI-13

Основные технические данные воздушных резервуаров для автотормозов (ГОСТ 1561—65)

Типоразмеры резервуаров	Емкость, л	Размеры, мм		Типоразмеры резервуаров	Емкость, л	Размеры, мм	
		Длина	Наружный диаметр			Длина	Наружный диаметр
РЗ-24	24	550	250	РЗ-100	100	1510	300
РЗ-38	38	605	300	РЗ-135	135	1180	400
РЗ-55	55	860	300	РЗ-156	156	1360	400
РЗ-78	78	1210	300				

Примечания. 1. На глухом днище резервуара допускается штуцер с резьбой труб 1/2, 3/4″ или 1″.
2. Отклонение емкости от указанной в таблице не должно превышать ±3%.

VI-6. ТОРМОЗНЫЕ РЫЧАЖНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Характеристики тормозной рычажной передачи электровозов и тепловозов приведены в табл. VI-14, принципиальные схемы указаны в табл. VI-15 и приведены на рис. VI-21 и VI-22, характеристики тормозной передачи дизель-поезда Д1 — в табл. VI-16, величины коэффициентов нажатия и передаточные числа для рычажных передач тормозов — в табл. VI-17.

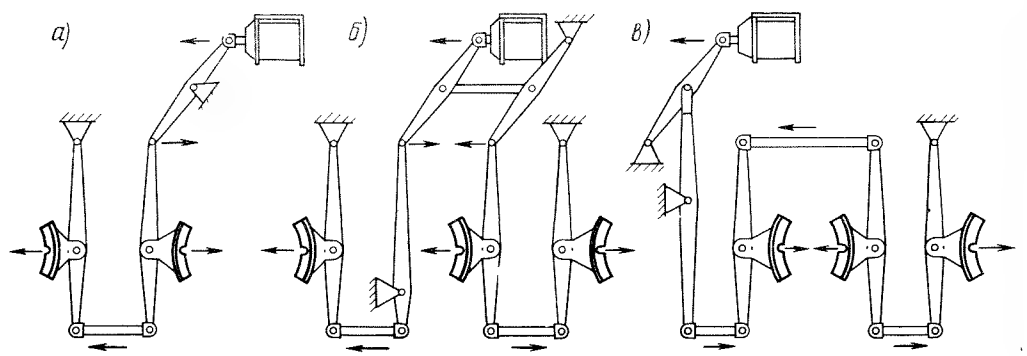


Рис. VI-21. Принципиальные схемы рычажных тормозных передач тепловозов:
а — торможение одностороннее двух колесных пар; *б* — торможение одностороннее трех колесных пар; *в* — торможение одной колесной пары с обеих сторон, другой — с одной стороны

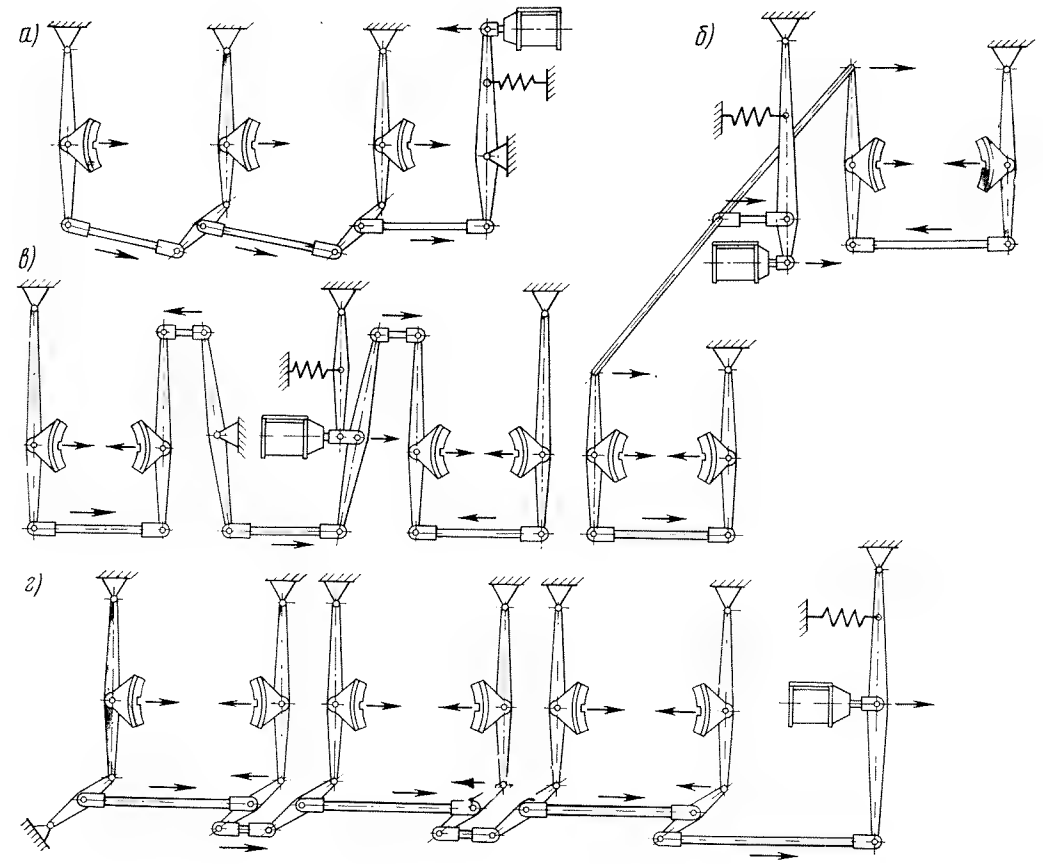


Рис. VI-22. Принципиальные схемы рычажных тормозных передач электровозов:
а — торможение одностороннее трех колесных пар; *б* — торможение двустороннее одной колесной пары; *в* — торможение двустороннее двух колесных пар; *г* — торможение двустороннее трех колесных пар

Таблица VI-14

Основные технические данные тормозной рычажной передачи электровозов и тепловозов

Серии локомотивов	Количество тормозных осей	Количество тормозных цилиндров	Диаметр тормозного цилиндра, дюйм	Передаточное число от одного тормозного цилиндра	Количество тормозных колодок (башмаков)	Нажатие на одну колодку (башмак), тс		Расчетное нажатие тормозных колодок на одну ось локомотива, тс	Расчетная масса локомотива, т
						действительное	расчетное		
ВЛ22м	6	4	14	7,0	12	7,6	5,3	10,6/5,2	132
ВЛ23	6	4	14	9,0	12	9,0	5,9	11,8/5,8	138
ВЛ8	8	8	10	8,1	16	6,8	5,0	10/4,9	184
ВЛ60	6	4	14	7,0	24	3,0	2,9	11,6/5,3	138

Серии локомотивов	Количество тормозных осей	Количество тормозных цилиндров	Диаметр тормозного цилиндра, дюйм	Передаточное число от одного тормозного цилиндра	Количество тормозных колодок (башмаков)	Нажатие на одну колодку (башмак), тс		Расчетное нажатие тормозных колодок на одну ось локомотива, тс	Расчетная масса локомотива, т
						действительное	расчетное		
ВЛ60п	6	4	14	7,0	24	3,0	2,9	11,6	138
ВЛ80, ВЛ80к	8	8	14	5,7	32	4,1	3,5	14/6,8	184
ВЛ82	8	8	10	11,5	32	4,1	3,5	14/6,5	190
ЧС1, ЧС3	4	4	12	7,1	16	4,3	3,6	14,4	84
ЧС2 (вспомогательный тормоз)	6	6	12	6,3	24	3,9	3,4	13,6	120
ЧС2 (пассажирский режим, $p=3{,}6$ кгс/см^2)	6	6	12	6,3	24	3,4	3,1	12,4	120
ЧС2 (скоростной режим, $p=6{,}8$ кгс/см^2 при $v=60$ км/ч, сброс до 3,6 кгс/см^2)	6	6	12	6,3	24	6,0	4,5	18	120
ЧС2м (скоростной режим, $p=6{,}1$ кгс/см^2, сброс до 3,6 кгс/см^2)	6	6	12	6,3	24	5,2	4,0	16	120
ЧС4 (вспомогательный тормоз)	6	6	10	9,7	24	3,9	3,4	13,6	126
ЧС4 (пассажирский режим, $p=3{,}4$ кгс/см^2)	6	6	10	9,7	24	3,4	3,1	12,4	126
ЧС4 (скоростной режим, $p=6{,}4$ кгс/см^2, сброс до 3,4 кгс/см^2)	6	6	10	9,7	24	6,0	4,5	18	126
Ф	6	4	12	10,0	24	3,6	3,3	13,2	138
Фп	6	8	10	9,7	24	4,4	3,6	14,4	131
К	6	8	12	7,1	24	4,9	3,9	14,0	138
ТЭ2	8	8	10	6,1	16	5,3	4,3	8,6/4,2	170
ТЭ3	12	8	10	10,8	24	6,4	4,8	9,6/4,6	254
ТЭ7	12	8	10	15,1	24	8,5	5,8	11,6	254
ТЭ10	6	4	10	15,1	12	8,0	5,4	10,8/5,4	129
ТЭП10	6	4	10	15,1	12	8,5	5,8	11,6	129
ТЭП60 (со скоростным регулятором, $p=4$ кгс/см^2, сброс при $v=60$ км/ч до 2,4 кгс/см^2)	6	8	10	11,0	24	5,8	4,3	17,2	128
ТЭМ1, ТЭМ2	6	8	10	11,0	12	6,4	4,8	9,6	121
ВМЭ1	4	4	10	9,0	16	2,8	2,7	10,8	74
ЧМЭ2	4	4	8	11,3	16	2,7	2,7	10,8	74
ЧМЭ3	6	8	8	10,2	24	2,9	2,8	11,2	123
ТГМ3	4	4	10	5,7	8	4,8	3,9	7,8	68

Примечание. Электровозы серий ЧС всех индексов оборудованы тормозными колодками секционного типа (две колодки в башмаке) длиной по 230 мм; тепловозы серии ТЭП60 — безгребневыми колодками длиной по 340 мм, а все остальные электровозы и тепловозы — гребневыми колодками длиной по 340 мм.

Таблица VI-15

Принципиальные схемы и характеристика тормозных рычажных передач электровозов и тепловозов

Номер рисунка	Серия локомотива	Характеристика передачи усилия от тормозного цилиндра на колесные пары
	Электровозы	
VI-21, *а*	ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22м, ВЛ23, ВЛ61	На три колесные пары с одной стороны
VI-21, *б*	ЧС1, ЧС2, ЧС3, ЧС4, ЧМЭ2	На одну колесную пару с двух сторон
VI-21, *в*	ВЛ10, ВЛ80, ВЛ80к, ВЛ82	На две колесные пары с двух сторон

Номер рисунка	Серия локомотива	Характеристика передачи усилия от тормозного цилиндра на колесные пары
VI-21, *г*	ВЛ60, ВЛ60п	На три колесные пары с двух сторон
—	Ф	На три колесные пары с двух сторон (два тормозных цилиндра на тележке)
	Тепловозы	
VI-22, *а*	ТЭ1, ТЭ2, ТГМ3 и электровозы ВЛ8	На одну или две колесные пары с одной стороны
VI-22, *б*	ТЭ3, ТЭ7, ТЭ10, ТЭП10, ТЭМ1, ТЭМ2	На три колесные пары с одной стороны
VI-22, *в*	ТЭП60, ЧМЭ3	На одну колесную пару с обеих сторон, на другую — с одной
—	2ТЭ116, 2ТЭ10Л	На одну колесную пару с двух сторон (тормозной цилиндр с каждой стороны)

Таблица VI-16

Основные технические данные тормозной рычажной передачи дизель-поездов

Показатели	Тележки дизель-поездов ДР1 и ДР1П			Тележки дизель-поезда Д1		
	движущая моторного вагона	поддерживающая моторного вагона	прицепного вагона	движущая моторного вагона	поддерживающая моторного вагона	прицепного вагона
Передаточное число передачи	1,01	1,01	0,8	8,53	7,515	6,07
Сила нажатия колодок на колесную пару, тс	7,57	4,41	3,48	11,5	8,8	7,0
Действительный коэффициент нажатия	0,5	0,35	0,31	0,72	0,735	0,77
К. п. д. рычажной передачи	0,878	0,815	0,815	0,76	0,9	0,9
Число тормозных колесных пар при ручном тормозе	1	—	1	2	—	1
Передаточное число передачи при ручном тормозе	131,36	—	131,36	1100	—	991
Сила нажатия колодок на колесную пару, тс*	6,57	—	6,57	8,0	—	7,6
Действительный коэффициент нажатия при ручном тормозе	0,43	—	0,58	0,5	—	0,835

* При усилии на рукоятке 25 кгс для дизель-поездов ДР1 и ДР1П и 50 кгс для дизель-поездов Д1.

Таблица VI-17

Основные технические данные тормозных передач электропоездов

Показатель	Электропоезда ЭР2, ЭР9П			Электропоезд ЭР22	
	Тележки головного вагона*	Тележки моторного вагона*	Тележки прицепного вагона*2	Тележки моторного вагона*	Тележки прицепного вагона*
Передаточное число рычажной передачи	8,88	5,58	8,43	6,79	12,66
Сила нажатия колодок на колесную пару, тс	9,26	11,86	8,79	10,46	12,56

Показатель	Электропоезда ЭР2, ЭР9П			Электропоезд ЭР22	
	Тележки головного вагона*	Тележки моторного вагона*	Тележки прицепного вагона*2	Тележки моторного вагона*	Тележки прицепного вагона*
Действительный коэффициент нажатия	0,91	0,905	0,905	0,647	1,22
К. п. д. рычажной передачи	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Число тормозных колесных пар при ручном тормозе	2	—/2	2	Одно колесо/—	—/Два колеса с одной стороны тележки
Передаточное число рычажной передачи ручного тормоза	11,2/9,87	—/9,0*3	7,27/8,29	8,21/—*3	—/9,0*3
Сила нажатия колодок на колесную пару при ручном тормозе, тс*4	5,06/4,46	—/12,51	5,05/5,75	8,67/—	—/9,39
Действительный коэффициент нажатия при ручном тормозе	0,5/0,44	—/0,955	0,52/0,595	0,537/—	—/0,915

* В числителе для передней тележки, в знаменателе для задней.
*2 В числителе для тележки, расположенной со стороны шкафа, в знаменателе для тележки, расположенной со стороны ручного тормоза.
*3 От гайки колонки ручного тормоза до колодок.
*4 При усилии на рукоятке 30 кгс для ЭР2 и 25 кгс для ЭР22.

VI-7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТОРМОЗОВ

Основные сведения о тормозах, необходимые при их эксплуатации, приведены в табл. VI-18—VI-29.

Таблица VI-18

Выходы штоков тормозных цилиндров, мм

Род подвижного состава	При выдаче из депо и пунктов технического осмотра	Максимально допустимые в эксплуатации
Электровозы, тепловозы (кроме ТЭП60)	75—125	150
Тепловозы ТЭП60	50—75	100
Вагоны электропоездов:		
моторные ЭР2, ЭР9П	50—75	100
прицепные ЭР2, ЭР9П и ЭР22	75—100	125
моторные ЭР22	40—50	60
Вагоны электропоездов остальных серий и дизель-поезда (кроме дисковых тормозов):		
моторные	75—100	130
прицепные	100—125	150
Моторные и прицепные вагоны дизель-поездов с дисковыми тормозами	5—8	25 (зимой 12)

Таблица VI-19

Порядок включения воздухораспределителей на локомотивах

Условный номер	Включение при следовании локомотива с поездом	
	пассажирским	грузовым
МТЗ-135	Режим П груженый	На равнинных профилях пути режим Р порожний, на горных Г порожний
270-002 и 270-005-1	Режим Р груженый	На равнинных профилях пути режим Р порожний, на горных Г порожний
292-001	В поездах до 18 вагонов режим К, свыше — режим Д	Режим Д

Примечание. **При следовании локомотива** в поездах в недействующем состоянии воздухораспределители грузового типа включают на средний режим при одиночном следовании.

Таблица VI-20

Время падения давления в главных резервуарах локомотива на 0,5 кгс/см² при проверке плотности тормозной сети в грузовых поездах

Серии локомотива	Время, с, при длине состава в осях					
	до 100	101—150	151—200	201—250	251—300	более 300
ВЛ22м, ВЛ23, ТЭ10, ТГ106, ТГМ3, ТГМ5, ТЭМ1, ТЭМ2, ЧМЭ2, ЧМЭ3, М62	70	50	35	30	25	20
ВЛ60 (всех индексов), ТЭ1	85	60	40	35	30	25
ВЛ8, ТЭ2, К	100	70	50	40	35	30
ВЛ80к, ВЛ80т, ВЛ82, ВЛ10	125	90	60	50	45	35
2ТЭ10Л, 2ТЭ10, ТЭ3, ТЭ40, ТГ102, ТГ16, 2ТЭ116	140	100	70	60	50	40

Примечания. 1. Для локомотивов других серий время принимают по графе локомотивов с соответствующим объемом главных резервуаров.
2. При езде по системе двух единиц, когда объемы главных резервуаров локомотивов составляют общий объем, время, указанное в таблице, удваивается.
3. При проверке плотности с зарядного давления 6,0—6,5 кгс/см² нормы времени, указанные в таблице, уменьшаются на 20%.

Таблица VI-21

Перепад давления в тормозной магистрали в зависимости от длины магистрали и плотности тормозной сети

Плотность тормозной сети по падению давления, кгс/см² в 1 мин	Пределы давления, кгс/см², тормозной магистрали между головным и хвостовым вагонами при длине магистрали, м			
	500	800	1200	1500
0,10	0,02	0,025	0,08	0,15
0,15	0,04	0,05	0,17	0,34
0,20	0,07	0,09	0,31	0,60

Примечания. 1. Время повышения давления в магистрали хвостового вагона практически такое же, как и время зарядки рабочего резервуара.
2. За время зарядки рабочего резервуара в запасных резервуарах объемом 78 л устанавливается давление примерно на 0,2—0,3 кгс/см² ниже зарядного (за счет усилия пружины на обратном клапане).

Таблица VI-22

Время зарядки и подзарядки тормозов в поездах при положении II ручки крана машиниста 222 или 394 (зарядное давление 5,3 кгс/см², давление в главном резервуаре 8 кгс/см²)

Вид зарядки	Время зарядки по рабочему резервуару хвостового вагона, мин, поезда длиной		
	100 вагонов	75 вагонов	50 вагонов
Первоначальная зарядка:			
до 5,0 кгс/см²	23	14	10
» 5,3 »	30	16	13
Подзарядка до 5,3 кгс/см² после ступени торможения 0,5 кгс/см²	2	1,5	1,2
Подзарядка после полного служебного торможения:			
до 5,0 кгс/см²	3	2	1,2
» 5,3 »	7	5	3
Подзарядка после экстренного торможения:			
до 5,0 кгс/см²	6,5	5	3
» 5,3 »	10,5	8	4

Снижение давления в магистрали при I ступени торможения в кгс/см²:

В пассажирских и моторвагонных поездах

Нормальной длины и моторвагонные	0,4—0,5
Длинносоставные и сдвоенные со скородействующими тройными клапанами	0,7—0,8
В поездах нормальной длины при температуре ниже —30° С	0,5—0,6

В грузовых поездах

В порожняковых поездах любой длины и груженых длиной до 350 осей	0,6—0,7
В груженых поездах длиной более 350 осей и на крутых затяжных спусках	0,7—0,8
На затяжных спусках 0,017‰ и более перед переходом на режим электрического (рекуперативного) торможения	0,6—0,7

На затяжных спусках круче 0,018‰	0,7—0,8
В поездах весом более 6000 т	0,7—0,8
На затяжных спусках свыше 0,030‰	0,8—0,9
На спусках для удержания поезда на месте	0,7—0,8
При температуре ниже —30° С	0,8—0,9
При минусовой температуре, снегопадах, когда преобладают в поезде композиционные колодки	0,7—0,8
То же, в порожних поездах и на крутых затяжных спусках	1,0—1,2

Таблица VI-23

Отпуск тормозов положением I ручки кранов машиниста усл. № 222, 328, 394 и 395

Характеристика поезда	Условный номер	После какого торможения производится отпуск	До какого давления в уравнительном резервуаре выдерживать в положении I, кгс/см²
*Пассажирские поезда**			
Любой длины свыше семи вагонов	222, 328, 394, 395	Ступени и полного служебного	5,0—5,2
Короткосоставный	То же	Экстренного торможения	1,5—2,0
Длинносоставный и сдвоенный	»	То же	3,0—3,5
С включением вагонов габарита РИЦ	395	Ступени и полного служебного	5,5
То же	222, 328 без стабилизатора	То же	5,2
То же, в короткосоставном	222, 328, 394 и 395	Экстренного торможения	1,5—2,0
То же, в длинносоставном и сдвоенном	То же	То же	3,0—3,5
С включением вагонов габарита РИЦ в поезда любой длины	То же, со стабилизатором	»	После зарядки уравнительного резервуара до нормального давления завысить до 5,5—5,7
То же	То же	При прицепке локомотива к составам	5,5
Грузовые поезда			
Длиной до 100 осей	222, 394, 395	Ступени и полного служебного	5,8—6,0
Длиной свыше 100 осей	То же	То же	6,0—6,5
Любой длины	222 без резервуара времени	»	5,8—6,0
Любой длины на равнинном режиме при повторных торможениях	222, 394, 395	»	5,5
То же, но перед повторным торможением имеется время на переход на нормальное давление	То же	»	5,8—6,0
На крутых спусках при зарядном давлении 6,0—6,5 кгс/см²	222, 394	»	6,5—6,8
Любой длины	222, 394, 395 со стабилизатором	Экстренного торможения	6,5—6,8
То же	222 без стабилизатора	То же	3,0—3,5

* В пригородных и пассажирских поездах из семи и менее вагонов ступени и полного служебного торможения ручку крана выдержать в положении I 1—2 с, а после экстренного — перекрыть комбинированный кран, зарядить уравнительный резервуар до 5,0 кгс/см и открыть комбинированный кран.

Таблица VI-24

Выдержка ручки крана машиниста 334, 334Э, Н6 и Кнорра в положении I при отпуске автотормозов

Род и длина поезда	Время выдержки, с: Ступень снижением давления в уравнительном резервуаре УР на 0,5—0,6 кгс/см²	Ступень снижением давления в уравнительном резервуаре УР на 0,7—1,0 кгс/см²	Полное служебное торможение снижением давления в УР на 1,5—1,7 кгс/см²	Экстренное торможение
Электропоезд до 10 вагонов включительно	5	8	15	30
Пассажирский:				
короткосоставный до 11 вагонов	5	8	15	30
нормальной длины (12—18 вагонов)	7	10	20	40
длинносоставный (19—25 вагонов)	10	12	25	50
сдвоенный (26—32 вагона)	12	15	30	60
Грузовой:				
до 120 осей	12	15	30	60
от 120 до 200 осей	15	25	40	70
свыше 200 осей	20	30	50	90

Таблица VI-25

Время полного отпуска тормозов в поезде от момента перевода ручки крана машиниста в отпускное положение до приведения локомотива в действие после разных видов торможения

Род поезда	Время до приведения локомотива в действие, с: Ступень снижением давления на 0,8 кгс/см²	Полное служебное торможение	Экстренное торможение
Грузовой, режим равнинный	90	120	360
Грузовой, режим горный	120	210	360
Пассажирский до 18 вагонов включительно	15	30	90
Пассажирский длинносоставный и сдвоенный	40	60	180
Пассажирский с тормозами КЕ, Эрликон и Дако, нормальной длины	30	60	240
То же, в сдвоенных и длинносоставных	80	120	360

Таблица VI-26

Время наполнения тормозных цилиндров и отпуска тормозов в поезде

Характеристика поезда	Количество вагонов	Время наполнения тормозных цилиндров до давления 3,5 кгс/см², с: ПСТ	ЭТ	Время отпуска до давления 0,4 кгс/см² в тормозном цилиндре, с, после ступени 0,6—0,7 кгс/см²	ПСТ	ЭТ
Грузовой с воздухораспределителями усл. № 270-002 и 270-005-1, режим равнинный	50	15/30	20/24	7/15	20/25	65/85
	75	15/45	20/35	8/25	20/35	80/100
	100	15/65	20/50	8/32	20/50	90/150
Пассажирский с воздухораспределителями усл. № 292-001	До 18	8/12	5/8	5/7	10/15	30/40
	Свыше 18	15/22	10/12	9/15	20/30	60/80

Примечание. В числителе указано для головных вагонов, в знаменателе — для хвостовых.

Отпуск тормозов на горном режиме при зарядном давлении 6,5 кгс/см² в поезде из 50 грузовых четырехосных вагонов происходит за время:

После ступени 0,6—0,7 кгс/см² . 30—50 с

» ПСТ . . . . . 75—135 »

» ЭТ . . . . . 150—200 »

Зависимость глубины ползуна (выбоины) от его длины:

Длина ползуна, мм	50	60	75	85	100
Глубина ползуна, мм	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0

Таблица VI-27

Ориентировочная глубина износа колеса при юзе иа длину пути 1000 м в зависимости от осевой нагрузки и скорости движения

Скорость движения в заклиненном состоянии, км/ч	Глубина износа колеса, мм, при осевой нагрузке, тс			
	6	12	16	20
40	0,05	0,15	0,25	0,40
60	0,06	0,35	0,50	0,80
80	0,10	0,45	0,80	1,25
100	0,15	0,65	1,15	1,75
120	0,20	0,80	1,50	2,30
140	0,25	1,05	1,80	2,90
160	0,30	1,25	2,20	3,45
180	0,40	1,50	2,60	4,25

Таблица VI-28

Порядок следования локомотивов и моторвагонного подвижного состава при наличии на поверхности катания колес ползунов (выбоин)

Тип подшипника на оси колесной пары	Глубина ползуна (выбоины), мм	Порядок следования
Качения Скольжения	До 0,7 » 1,0	Скорость движения не ограничивается
Качения Скольжения	Более 0,7 » 1,0	Запрещается выпускать в эксплуатацию
Качения Скольжения	Более 0,7, но не более 1,5 Более 1,0, но не более 2,0	В пути следования необходимо довести до основного или оборотного пункта со скоростью не свыше 25 км/ч, а при температуре ниже 30° С — не свыше 15 км/ч
Качения Скольжения	Более 2,0 » 3,0	Отцепить от поезда и доставить в депо в нерабочем состоянии, а с перегона до первой станции со скоростью 5—10 км/ч

Таблица VI-29

Расчетные нажатия чугунных тормозных колодок на ось локомотивов и моторвагонного подвижного состава

Серия локомотива или электропоезда	Расчетное нажатие, тс, при режиме	
	груженом	порожнем
Электровозы		
ЧС1, ЧС3, Ф, Ф^{п}, К	14,0	—
ЧС2, ЧС4 на скоростном режиме	16,0	—
ЧС2, ЧС4 на скоростном режиме при скоростях менее 60 км/ч и на пассажирском режиме	12,0	—
ВЛ80, ВЛ80^{к}	14,0	6,0
ВЛ23, ВЛ60 (всех индексов)	11,0	5,0*
Остальные серии электровозов	10,0	5,0*

Продолжение табл. VI-29

Серия локомотива или электропоезда	Расчетное нажатие, тс, при режиме	
	груженом	порожнем
Тепловозы		
ТЭП60, ТЭ1	12,0	5,0*
ТЭП10, ТЭ7	11,5	—
ТЭ2, ТГ102	9,0	4,0
ЧМЭ3	11,0	5,0
ТГМ3А	8,0	4,0
Остальные серии тепловозов	10,0	5,0*
Электропоезда		
Моторный вагон	10,0	—
Прицепной и головной вагоны	9,0	—
Дизель-поезда ДР1 и Д1		
Моторный вагон	10,0	—
Прицепной вагон	8,0	—

* При наличии порожнего режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Албегов Н. А., Фокин М. Д., Ясенцев В. Ф. Электропневматические тормоза. М., «Транспорт», 1974, 232 с.

2. Гринио В. А., Крылов В. И., Озолин А. К. Краны машиниста. М., «Транспорт», 1971, 112 с.

3. Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог. М., «Транспорт», 1972, 136 с.

4. Крылов В. И., Перов А. Н., Озолин А. К., Климов Н. Н. Справочник по тормозам. М., «Транспорт», 1975, 512 с.

5. Крылов В. И., Крылов В. В. Автоматические тормоза подвижного состава. Учебник для техникумов и техн. школ ж.-д. транспорта. Изд. 2-е перераб. и доп. М., «Транспорт», 1972, 320 с.

6. Крылов В. И., Клыков Е. В., Ясенцев В. Ф. Автоматические тормоза. Иллюстрированное пособие. М., «Транспорт», 1973, 256 с.

VII. ТЯГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГЛАВНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

VII-1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Все тяговые двигатели изготовляют в соответствии с ГОСТ 2582—72 — «Машины электрические постоянного и пульсирующего токов тяговые. Технические требования»; ГОСТ 183—66 — «Машины электрические. Общие технические требования»; ГОСТ 11828—66 — «Машины электрические. Методы испытаний»; ГОСТ 9238—59— «Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1524 мм».

Описание конструктивного выполнения машин дается применительно к отдельным элементам двигателей, рисунки же для удобства пользования сгруппированы по отдельным типам двигателей.

VII-2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Электромеханические характеристики, отнесенные к ободу движущихся колес, дают зависимость от тока якоря двигателей I_a величин: тягового усилия на ободе движущих колес $F_д$, скорости движения локомотива $v_э$ и к. п. д. двигателя, отнесенного к ободу движущих колес η. Используются они при выполнении тяговых расчетов.

Нагрузочные характеристики машины— это зависимости $\frac{E}{n}(I_в)$ или $\frac{E}{v_э}(I_в)$ при различных токах якоря I_a. Здесь E — э. д. с. машины, В; n — частота (скорость вращения якоря двигателя, об/мин; $I_в$ — ток возбуждения (в обмотке главных полюсов), А.

Эти характеристики необходимы для построения тормозных характеристик машин при рекуперативном торможении.

Для машин некомпенсированных (НБ-406А, НБ-406В и НБ412М) зависимости $\frac{E}{n}(I_в)$ приводятся для ряда значений токов якоря I_a, а для двигателей с компенсационной обмоткой (НБ-412К, НБ-418К, НБ-420Б) дается лишь одна кривая $\frac{E}{n}(I_a)$. Это объясняется тем, что в последних воздействие реакции якоря на магнитный поток машины устраняется компенсационной обмоткой, и величина магнитного потока Φ (при данной частоте вращения n и э. д. с. $E \equiv \Phi$) зависит только от намагничивающей силы главных полюсов $F_в = I_в w$. При постоянном числе витков обмотки возбуждения w величина Φ зависит только от тока возбуждения $I_в$.

Тепловые характеристики двигателей могут быть даны в виде сетки кривых нагревания и охлаждения $\tau(t)$ для различных режимов работы двигателя (различных токов якоря I_a или в виде зависимости от тока I_a параметров T и τ_∞, входящих в уравнение, описывающее кривые нагревания $\tau(t)$. Превышение температуры в произвольный момент времени t

$$\tau = \tau_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right),$$

где τ_∞ — установившееся превышение температуры рассматриваемого режима, °С;

T — тепловая постоянная времени, мин.

Эти характеристики даются для наиболее нагревающихся обмоток машины.

Обычно тепловые расчеты выполняются аналитически, т. е. на основании зависимостей $\tau_\infty(I_a)$ и $T(I_a)$.

Аэродинамические характеристики дают зависимость количества прогоняемого через машину воздуха Q (м³/мин) от статического напора в коллекторной камере двигателя $H_{ст}$ (мм вод. ст.). Эти характеристики позволяют заменить непосредственное измерение количества охлаждающего воздуха, прогоняемого через двигатель, установленный на электровозе (что практически невозможно), весьма просто выполняемым измерением статического напора в коллекторной камере двигателя.

VII-3. ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Э. П. С.

На электровозах, тепловозах , электро- и дизель-поездах применяют тяговые двигатели с последовательным возбуждением. Их узлы и элементы во многом подобны. Ниже рассмотрена конструкция тяговых двигателей электроподвижного состава (рис. VII-1—VII-46).

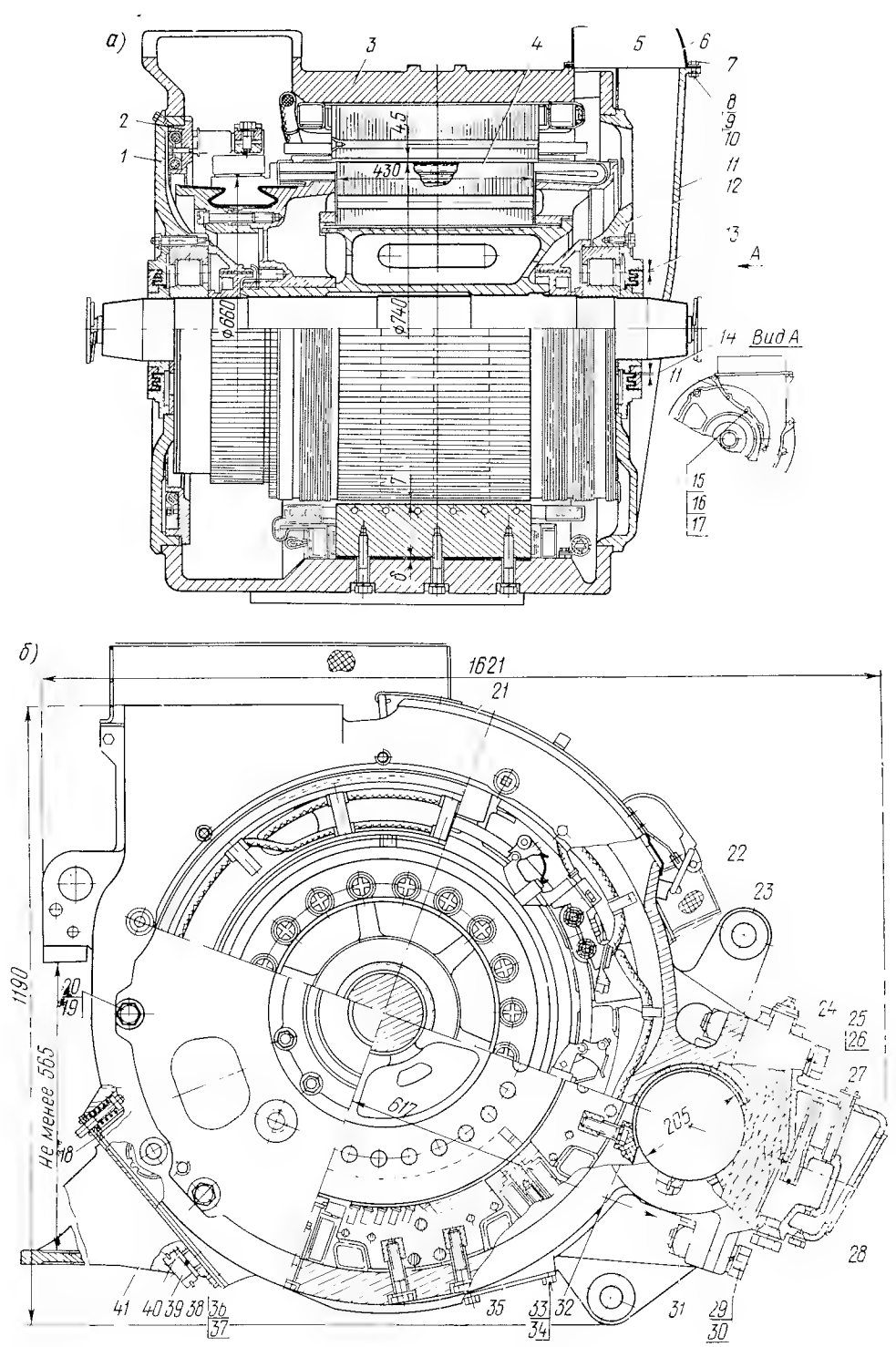


Рис. VII-1. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы тягового двигателя ТЛ-2К:

1 — подшипниковый щит; *2* — поворотная траверса; *3* — остов; *4* — якорь; *5* — прокладка уплотняющая; *6* — козырек; *7* — гайка М10; *8* — болт М10×30; *9, 17, 20, 26, 30, 34, 37, 40* — шайбы пружинные; *10* — шайба; *11* — кожух; *12* — подшипниковый щит; *13* — наружный радиальный зазор между крышкой подшипниковой камеры и лабиринтным кольцом, равный не менее 0,4 мм по всей окружности; *14* — то же внутренний, не менее 0,2 мм; *15* — болт М12×35; *16* — шайба; *18* — нижняя крышка камеры коллектора; *19* — болт М24×55; *21* — верхняя крышка камеры коллектора; *22* — козырек; *23, 24* — прокладки; *25* — болт М36×240; *27* — подбивка моторно-осевых подшипников (фитильная пряжа); *28* — шапка моторно-осевого подшипника; *29* — болт М36×130; *31* — гайка специальная; *32* — компаунд пропиточный; *33* — болт М12×30; *35* — крышка; *36* — болт М16×30; *38* — проволока; 39 — болт; 41 — кронштейн; воздушный зазор под добавочным полюсом при проволочных бандажах 6 мм, при стеклобандажах — 8 мм

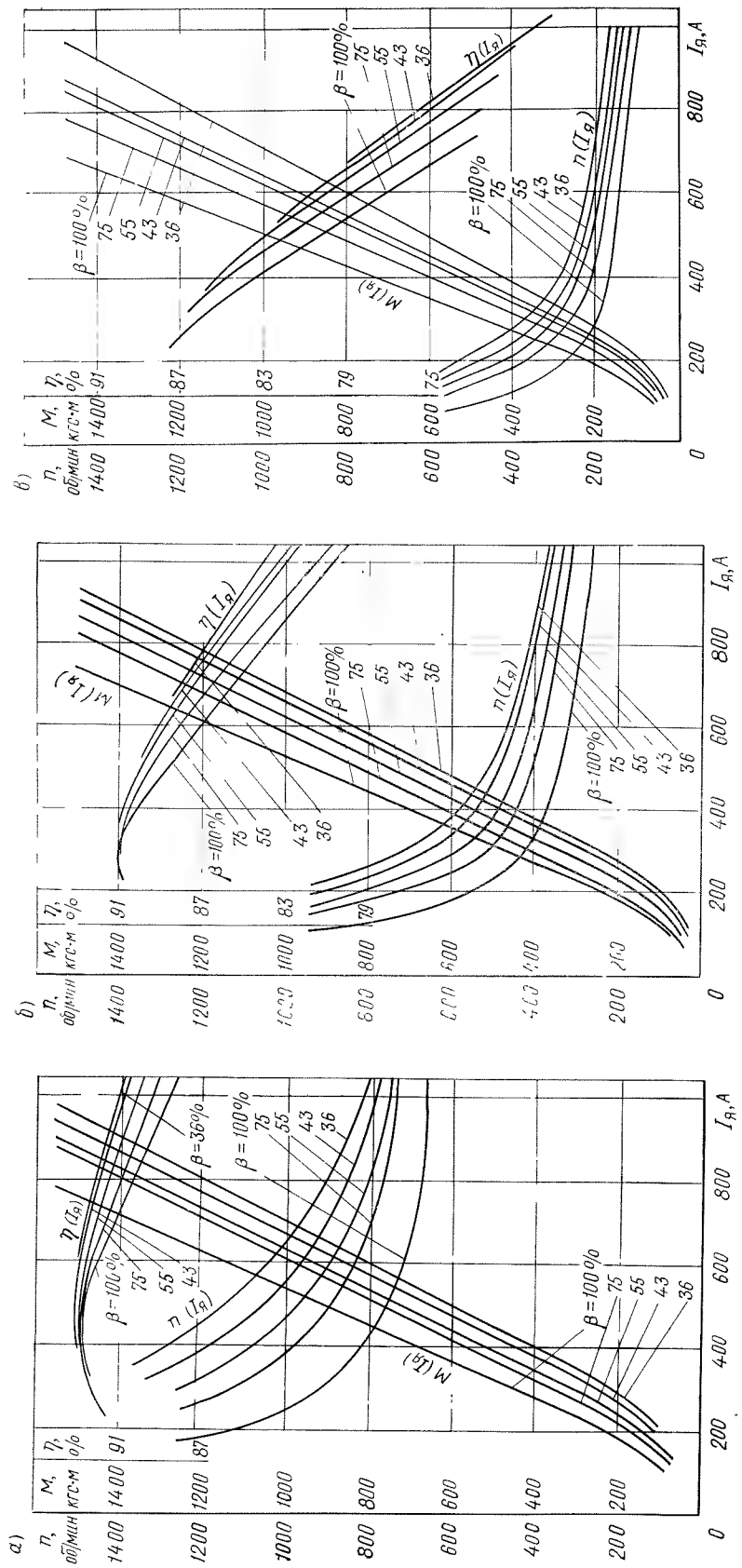


Рис. VII-2. Электромеханические характеристики тягового двигателя ТЛ-2К при напряжении на зажимах двигателя $U_д$: *а* — 1500 В; *б* — 750 В; *в* — 375 В

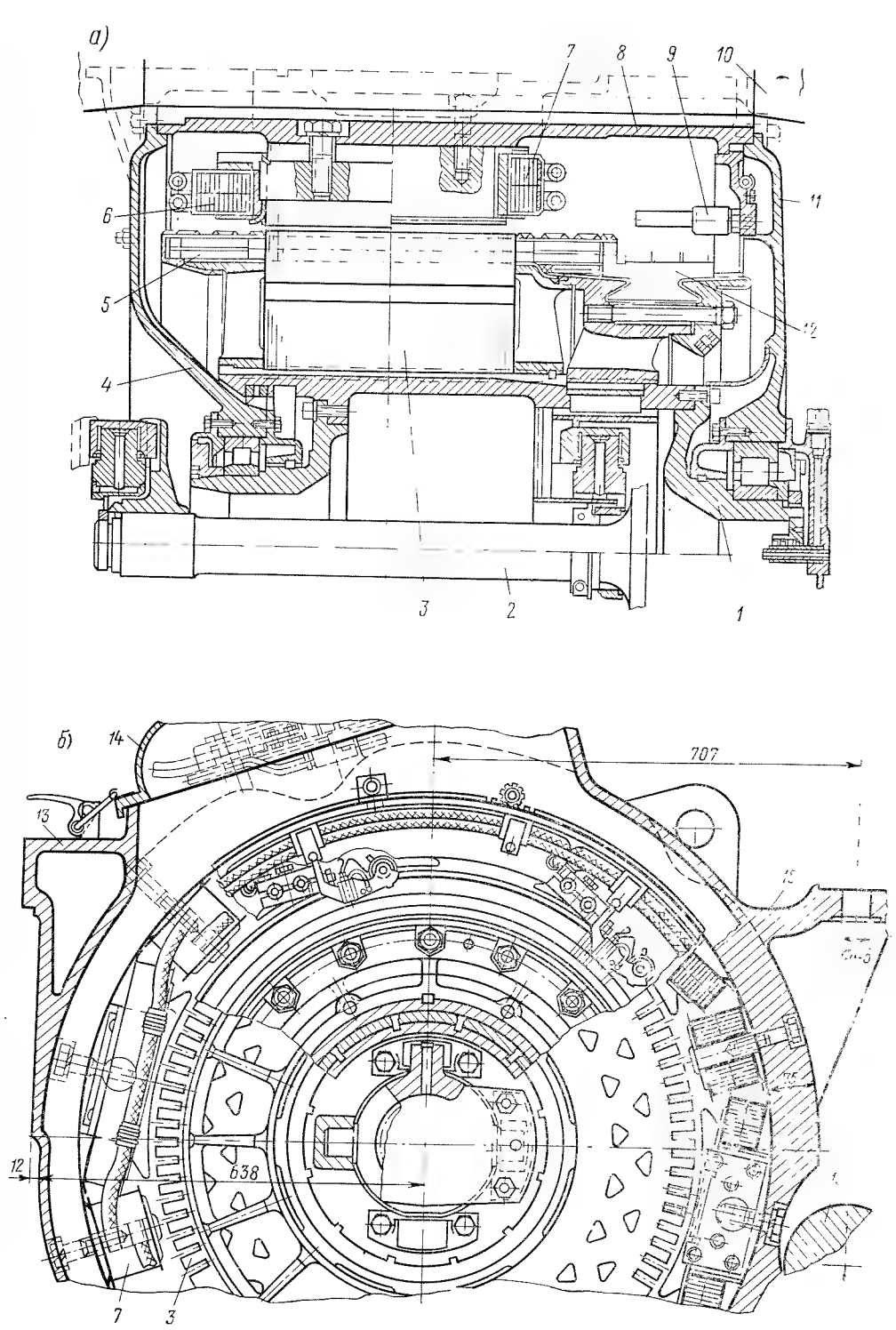


Рис. VII-3. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы тягового двигателя AL 4846eT:
1 — коробка (вал) якоря; *2* — карданный вал привода; *3* — сердечник якоря; *4, 11* — подшипниковые щиты; *5* — обмотка якоря; *6* — главный полюс; *7* — добавочный полюс; *8* — остов; *9* — палец кронштейна; *10* — рама кузова; *12* — коллекторная пластина; *13, 15* — выступы для крепления к раме тележки; *14* — крышка коллекторного люка; *16* — ось колесной пары

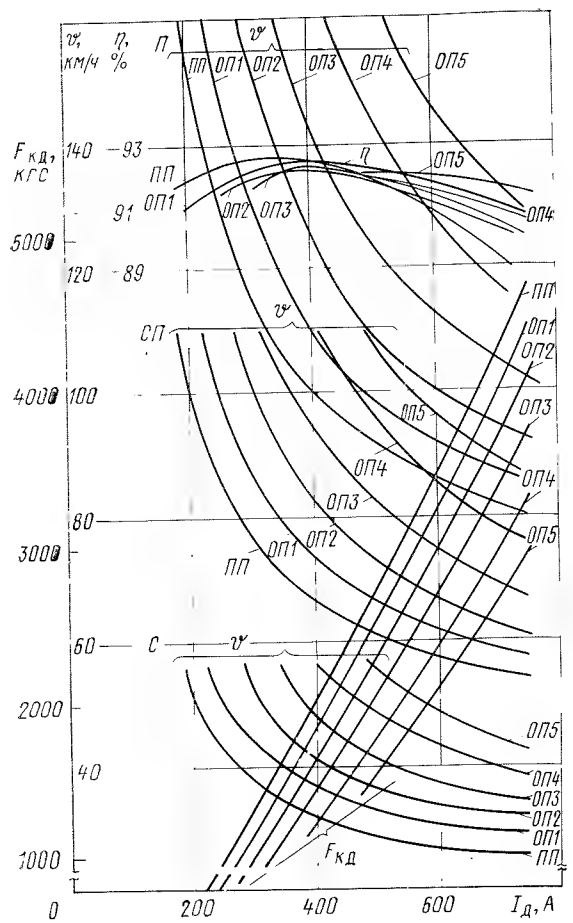


Рис. VII-4. Электромеханические характеристики тягового двигателя AL4846eT при μ=1,75; $U_д$=1500, 1000 и 500 В

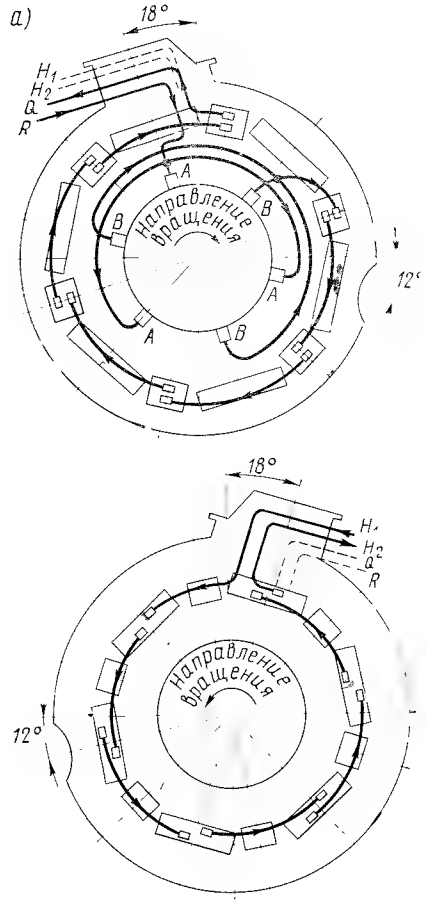


Рис. VII-5. Схема соединения обмоток тягового двигателя AL4846eT:

а — со стороны коллектора; *б* — со стороны, противоположной коллектору

Остов двигателя. Остов двигателя выполняет функции магнитопровода и в нем размещаются все детали машины. Материалом остова служит мягкая литая сталь высокой магнитной проницаемости. Обычно используется сталь марки 25ЛII (ГОСТ 977—65).

Остовы машин с $2p$=4 обычно восьмигранные с широкими горизонтальными и вертикальными гранями, в которых располагаются главные полюсы, и узкими, ориентированными под 45° к горизонтали и вертикали, в которых размещают добавочные полюсы (см. рис. VII-32, *б*). Двигатели с $2p$=6 имеют цилиндрические остовы (см. рис. VII-1, *б*; VII-9, *б*; VII-13, *б*).

Внутренняя поверхность остова цилиндрической формы растачивается под установку полюсов и их катушек. При восьмигранной форме остова места под посадку сердечников главных полюсов растачивают, а под сердечники добавочных полюсов простругивают. Внутренняя поверхность остова, кроме мест посадки сердечников полюсов, покрывается серой электроэмалью ГФ-92-ХС. В торцовых частях остов имеет расточки (горловины) для посадки подшипниковых щитов.

У двигателей НБ-418К, НБ-420Б и НБ-420 камера для выхода из машины воздуха на стороне, противоположной коллектору, образуется специальным приболчиваемым кожухом, отливаемым из алюминия АЛ-2.

Кожух крепится к корпусу болтами и для уплотнения места стыка ставится на густотертых белилах МОО.

После сборки остов двигателя со всеми внешними элементами и деталями покрывают черным лаком БТ-99.

Подшипниковые щиты и якорные подшипники. Подшипниковые щиты плотно пригнаны своими посадочными поверхностями к расточкам горловин остова, сажают их с натягом. После посадки подшипниковые щиты фиксируют болтами. В бортах подшипниковых щитов предусматривают резьбовые отверстия для выжимания щитов из горловин при демонтаже двигателя.

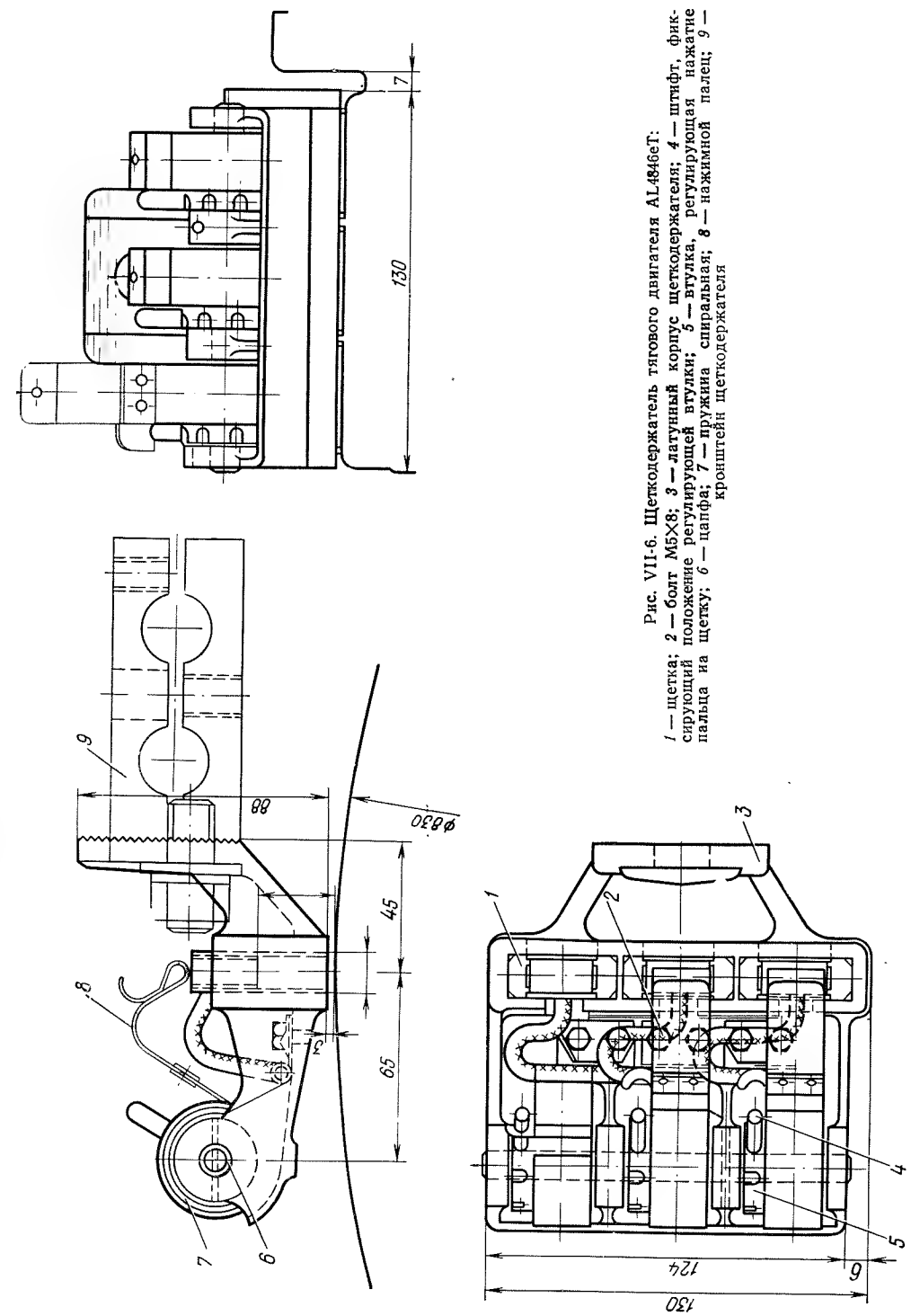


Рис. VII-6. Щеткодержатель тягового двигателя AL4846eT:

1 — щетка; *2* — болт М5×8; *3* — латунный корпус щеткодержателя; *4* — штифт, фиксирующий положение регулирующей втулки; *5* — втулка, регулирующая нажатие пальца на щетку; *6* — цапфа; *7* — пружина спиральная; *8* — нажимной палец; *9* — кронштейн щеткодержателя

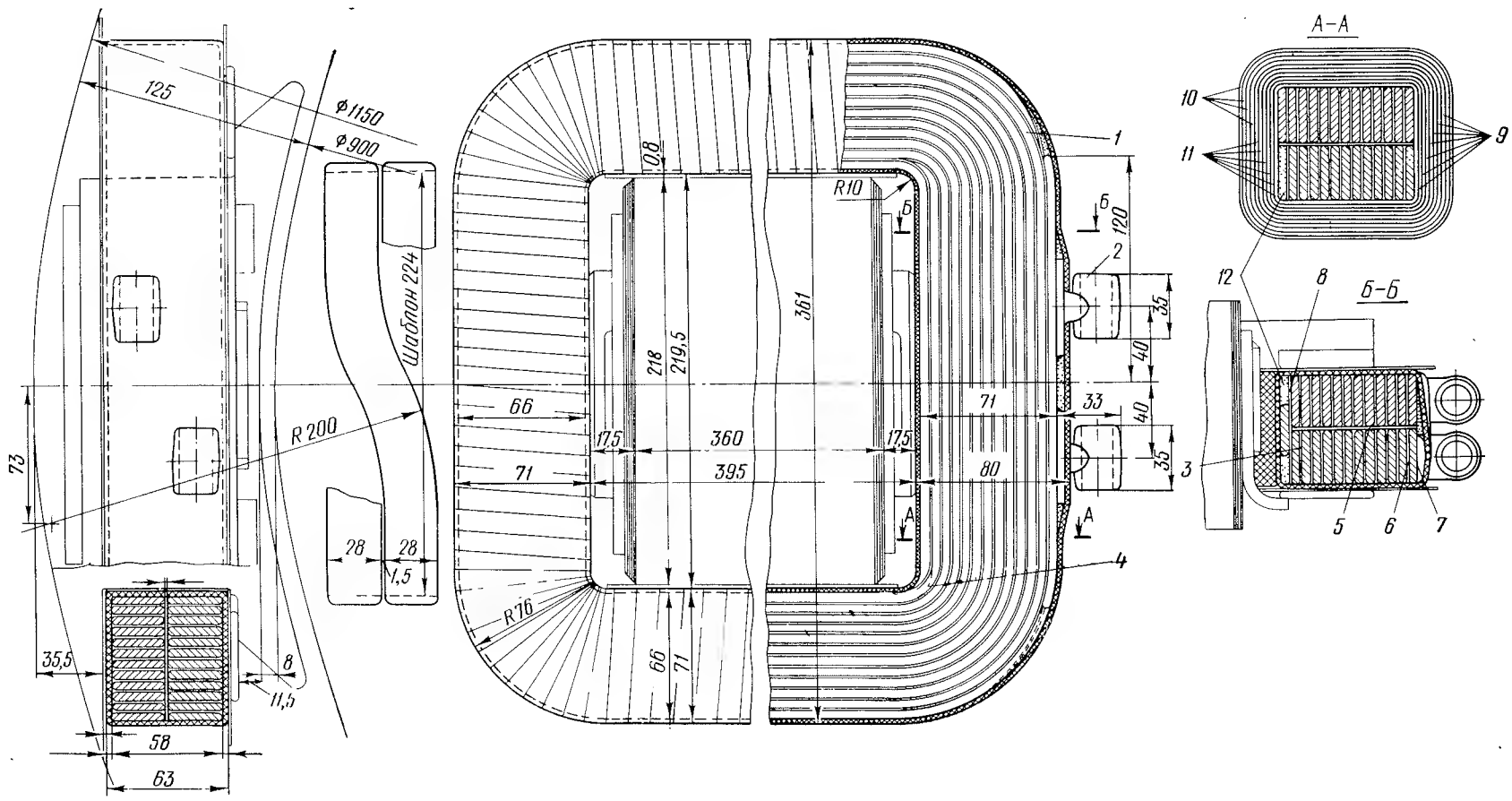


Рис. VII-7. Катушка главного полюса тягового двигателя AL4846eT:

1 — шина медиая 5,1×28; *2* — патрон латунный; *3* — изоляция межвитковая 0,3×33 (бумага асбестовая); *4* — дополнительная миканитовая изоляцня в углах катушки 0,2×20×100; *5* — прокладка миканитовая; *6* — нзоляция 0,2×28×300 мнканитовая; *7* — припой 0,2×20×50; *8* — нзоляция 0,5×57×170 мнкаинтовая; *9* — нзоляция стекломикафолиевая, укладываемая в виде прокладок между изоляцией *10* н *11* с внешней стороны катушки; *10* — покровная изоляция (лента стеклянная 0,1×20) в четыре слоя вполуперекрышу; *11* — корпусная изоляцня (стекломнкалента 0,12×2,0) в семь слоев вполуперекрышу; *12* — заполнитель (слюдяная паста)

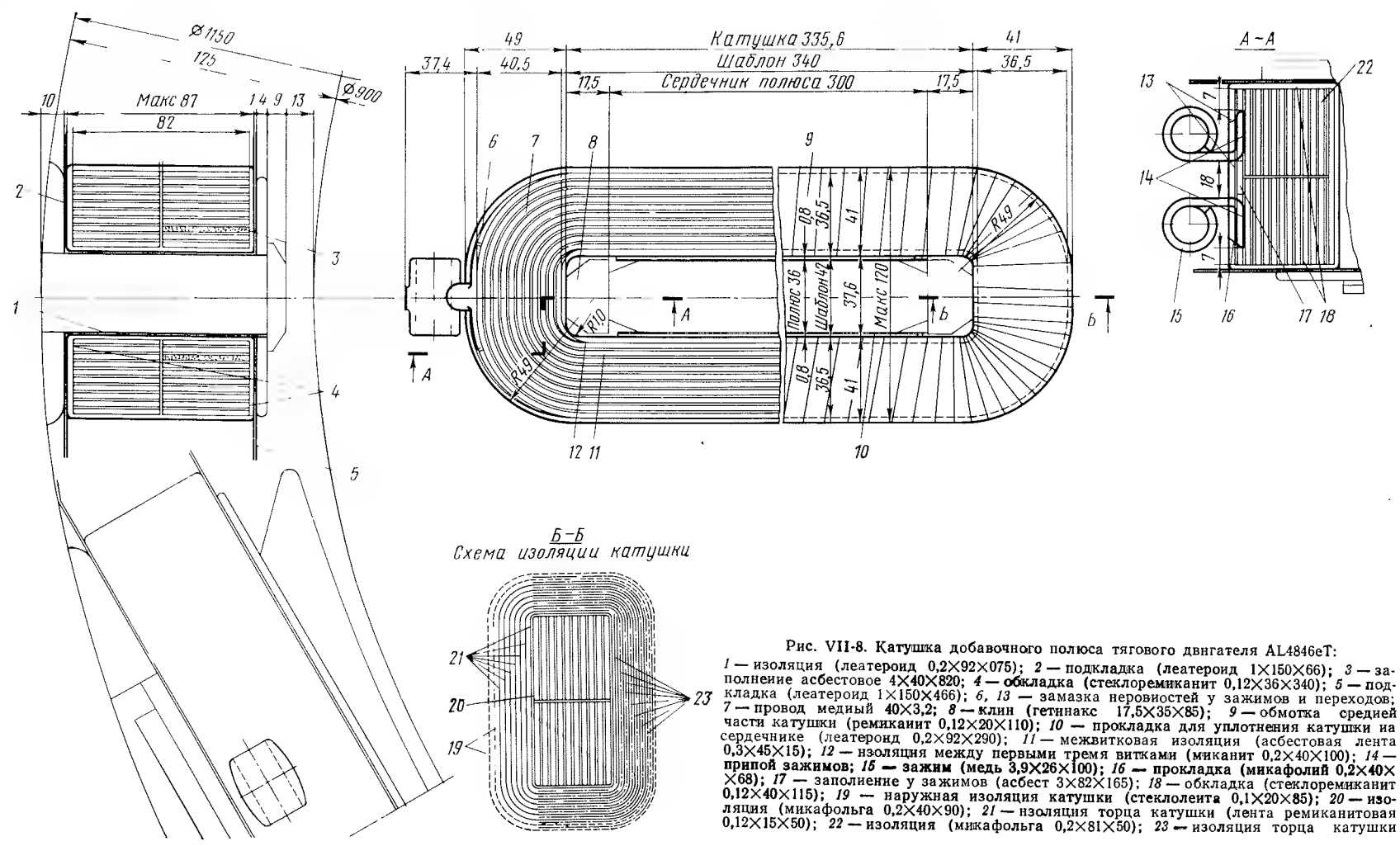


Рис. VII-8. Катушка добавочного полюса тягового двнгателя AL4846eT:

1 — изоляция (леатероид 0,2×92×075); *2* — подкладка (леатероид 1×150×66); *3* — заполнеиие асбестовое 4×40×820; *4* — обкладка (стеклоремиканит 0,12×36×340); *5* — подкладка (леатероид 1×150×466); *6, 13* — замазка неровиостей у зажимов и переходов; *7* — провод медиый 40×3,2; *8* — клин (гетннакс 17,5×35×85); *9* — обмотка средией части катушки (ремикаиит 0,12×20×110); *10* — прокладка для уплотнения катушки иа сердечнике (леатероид 0,2×92×290); *11* — межвитковая изоляция (асбестовая лента 0,3×45×15); *12* — изоляция между первыми тремя витками (миканит 0,2×40×100); *14* — припой зажимов; *15* — зажим (медь 3,9×26×100); *16* — прокладка (микафолий 0,2×40×68); *17* — заполиение у зажимов (асбест 3×82×165); *18* — обкладка (стеклоремиканит 0,12×40×115); *19* — наружная изоляция катушки (стеклолеита 0,1×20×85); *20* — изоляция (микафольга 0,2×40×90); *21* — изоляция торца катушки (лента ремиканитовая 0,12×15×50); *22* — изоляция (микафольга 0,2×81×50); *23* — изоляция торца катушки

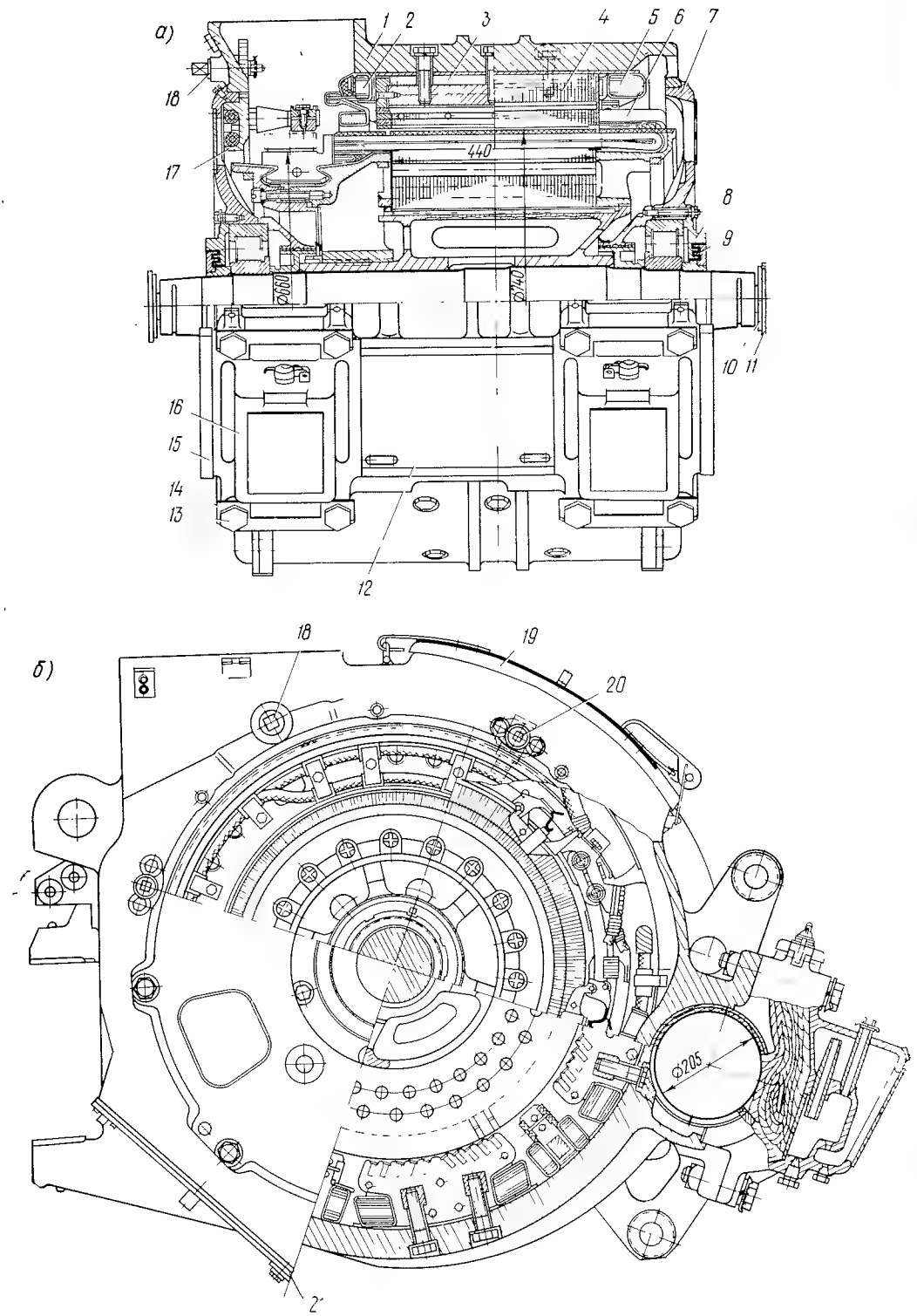


Рис. VII-9. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы тягового двигателя НБ-412К:

1 — остов; *2* — катушка добавочного полюса; *3* — сердечник добавочного полюса; *4* — сердечник главного полюса; *5* — катушка главного полюса; *6* — компенсационная обмотка; *7* — подшипниковый щит; *8* — крышка подшипникового щита; *9* — уплотняющее устройство; *10* — шайба; *11* — гайка; *12* — крышка оси колесной пары; *13* — болт; *14* — планка; *15* — вкладыш моторно-осевого подшипника; *16* — подшипник моторно-осевой *17* — траверса щеткодержателей; *18* — валик поворотного механизма траверсы; *19* — крышка коллекторного люка; *20* — стопорное устройство траверсы щеткодержателей; *21* — крышка нижнего люка двигателя

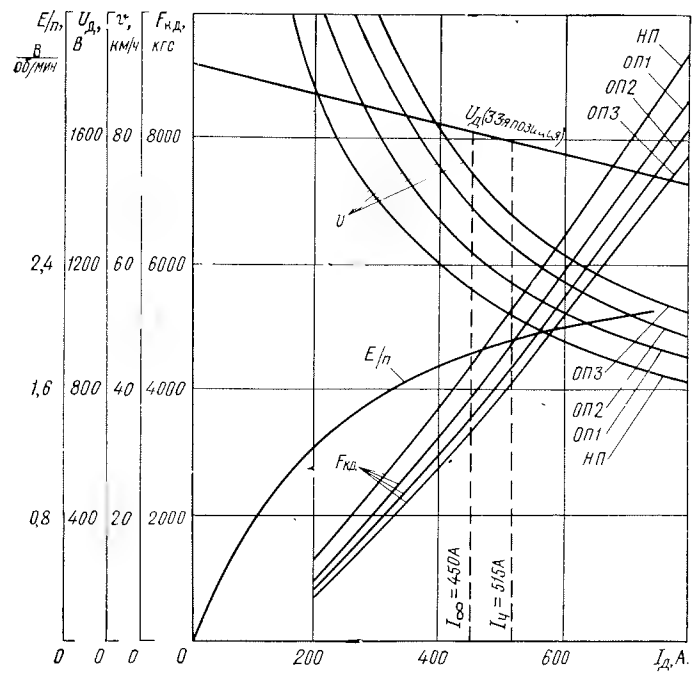


Рис. VII-10. Электромеханические и нагрузочная характеристики тягового двигателя НБ-412К при μ=3,826 и $U_т$=25 000 В (напряжение на токоприемнике)

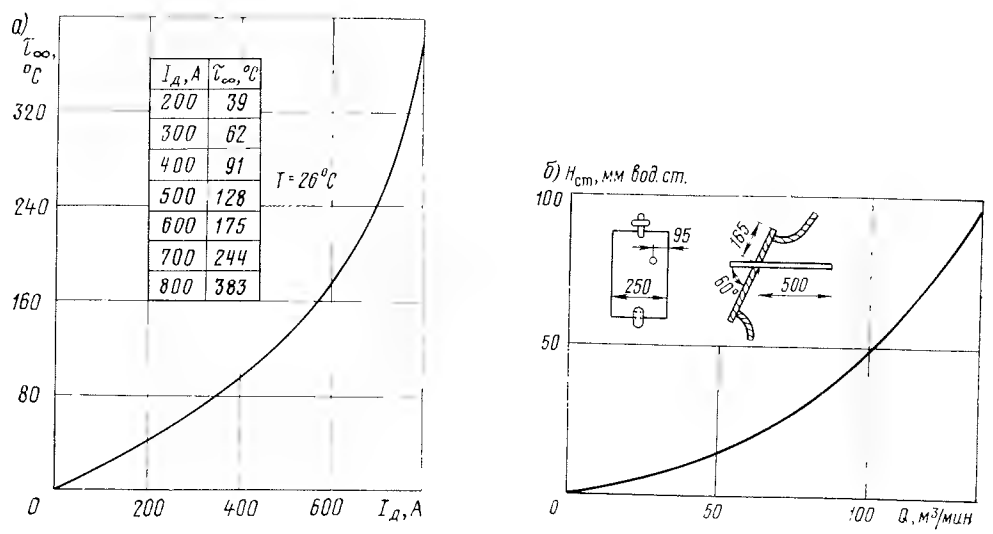


Рис. VII-11. Характеристики тягового двигателя НБ-412К:
а — тепловая для обмотки якоря при Q = 110 м³/мин; *б* — аэродинамическая

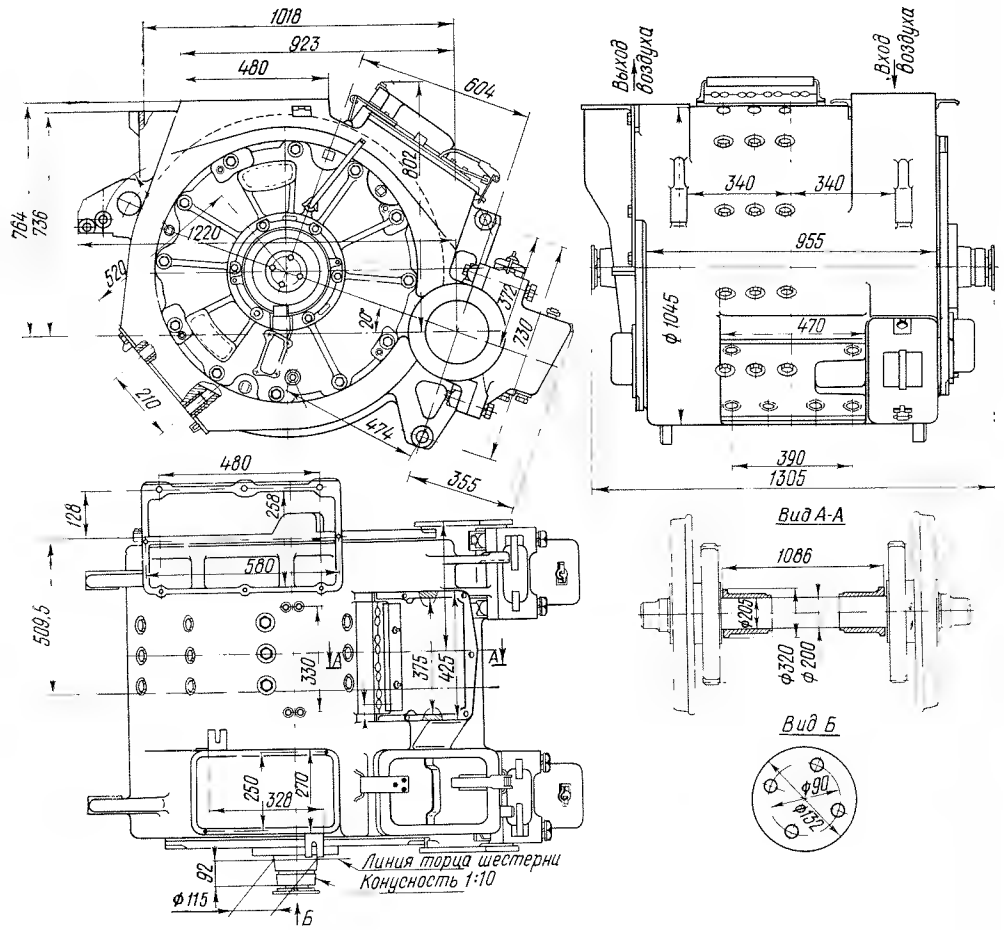


Рис. VII-12. Габаритные размеры тягового двигателя НБ-418К6

Подшипниковые щиты имеют камеры, закрывающиеся крышками, в которых размещены подшипники, их смазка и уплотняющие лабиринтные устройства. Материал подшипниковых щитов и их крышек — стальное литье марки 25ЛI.

В тяговых двигателях подвижного состава применяют подшипники качения с цилиндрическими роликами.

У двигателей с односторонней зубчатой передачей на стороне привода расположен радиальный подшипник, а со стороны коллектора менее нагруженный радиальными силами радиально-упорный подшипник, воспринимающий и аксиальную составляющую сил, действующих на вал якоря. Наружное кольцо подшипника всегда с двумя бортами, между которыми расположен венец роликов, собранных в сепараторе (см. рис. VII-24, VII-30, VII-31).

Внутреннее кольцо радиальных подшипников безбортовое, а у радиально-упорных имеет борт с одной стороны и запорное фасонное съемное кольцо с другой (см. рис. VII-32, *а*).

При двусторонней передаче чаще всего наружное кольцо двухбортовое, а внутренние кольца имеют по одному борту, расположенному со стороны сердечника якоря.

Для предотвращения недопустимых монтажных перекосов подшипников на собранном двигателе контролируют биение наружного кольца подшипника. В новых двигателях это биение не должно превышать 0,1 мм при подшипниках с наружным диаметром 180—250 мм и 0,12 мм при диаметрах 250—360 мм. Для предотвращения осевых защемлений роликов, фиксирующих подшипники при возможных перекосах, необходимо, чтобы нижний предел норм на осевой зазор был не менее 0,2 мм для подшипников с внутренним диаметром до 100 мм и 0,25 мм при диаметрах 100—150 мм. Радиальные зазоры в новых подшипниках должны быть 0,07—0,16 мм; недопустим зазор (в результате износа) более 0,3 мм.

Смазка роликовых подшипников консистентная марки 1-ЛЗ (ГОСТ 12811—67) или 1-13 (ГОСТ 1631—61). Смазывают ролики и сепараторы, заполняя канавки гидравлических уплотнений и смазочные камеры на $^2/_3$ их объема.

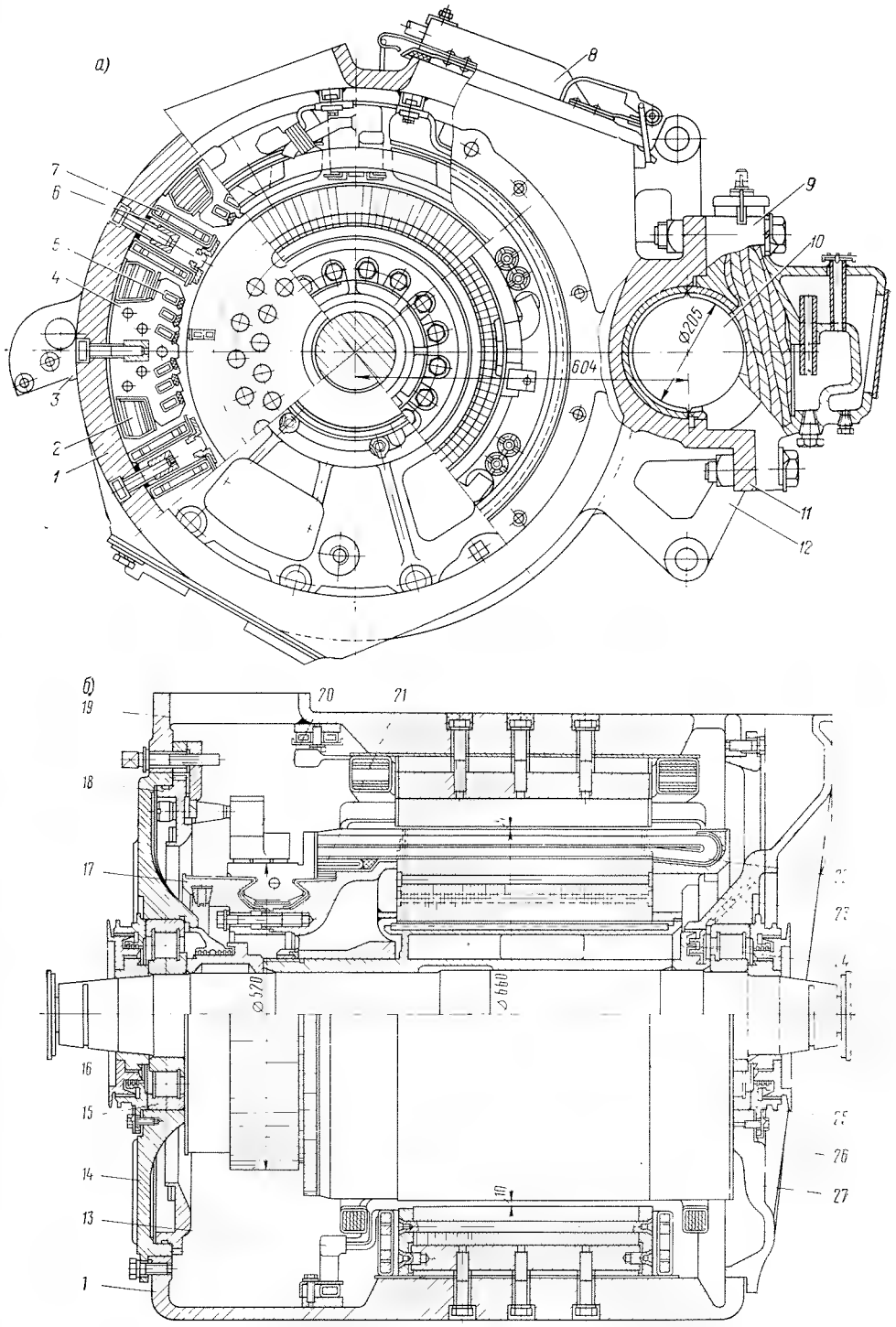


Рис. VII-13. Поперечный (*а*) и продольный (*б*) разрезы тягового двигателя НБ-418К6:

1 — остов; *2* — катушка главного полюса; *3* — прилив для опоры на траверсу подвешивания; *4* — сердечник главного полюса; *5* — компенсационная обмотка; *6* — сердечник добавочного полюса; *7* — катушка добавочного полюса; *8* — коробка выводов; *9* — шапка моторно-осевого подшипника; *10* — ось колесной пары; *11* — фланец горловины под моторно-осевые подшипники; *12* — кронштейн подвешивания двигателя; *13* — межкатушечное соединение; *14* — передний подшипниковый щит; *15, 25* — передний и задний роликовые подшипники 8Н42330Л1М; *16* — вал двигателя; *17* — коллектор; *18* — поворотная траверса щеточного аппарата; *19* — люк для входа вентилирующего воздуха; *20* — щеткодержатель; *21* — уравнитель; *22* — катушка обмотки якоря; *23* — сердечник якоря; *24* — лабиринтное уплотнение; *26* — кожух для выхода из машины вентилирующего воздуха; *27* — задний подшипниковый щит

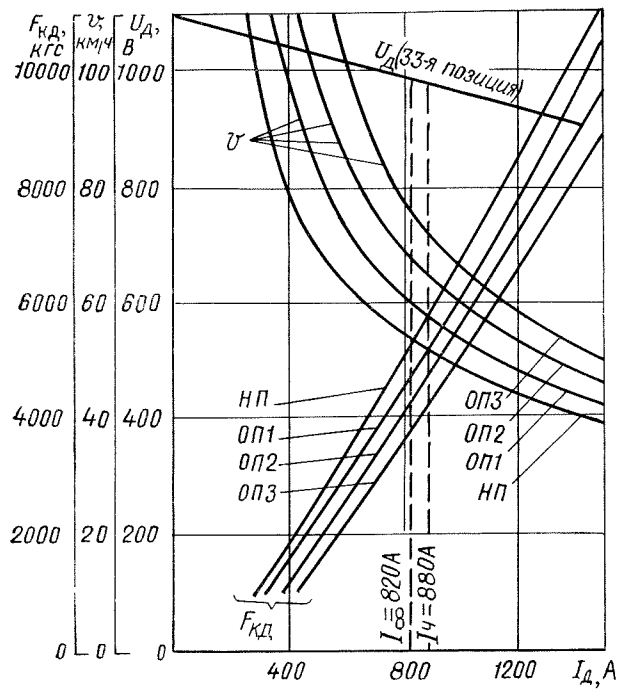


Рис. VII-14. Электромеханические характеристики тягового двигателя НБ-418К6 при μ=4,19; $U_т$=25 000 В

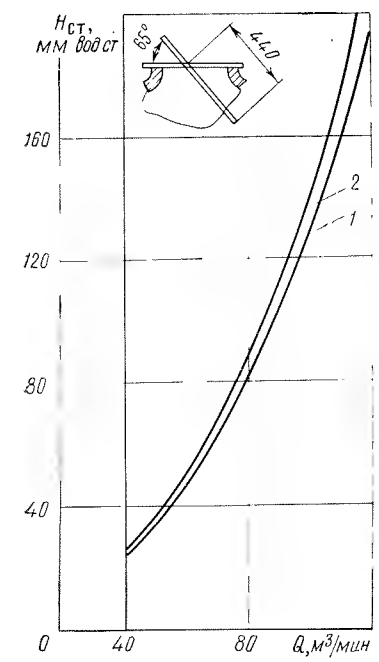


Рис. VI-15. Аэродинамическая характеристика тягового двигателя НБ-418К6:

1 — без кожуха зубчатой передачи; *2* — кожухом зубчатой передачи

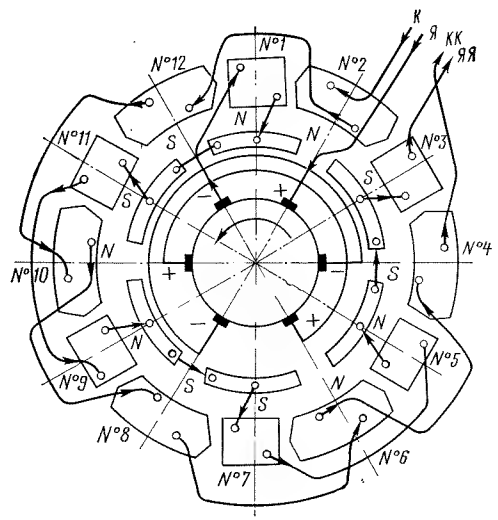


Рис. VII-16. Схема соединения обмотки тягового двигателя НБ-418К6 со стороны коллектора

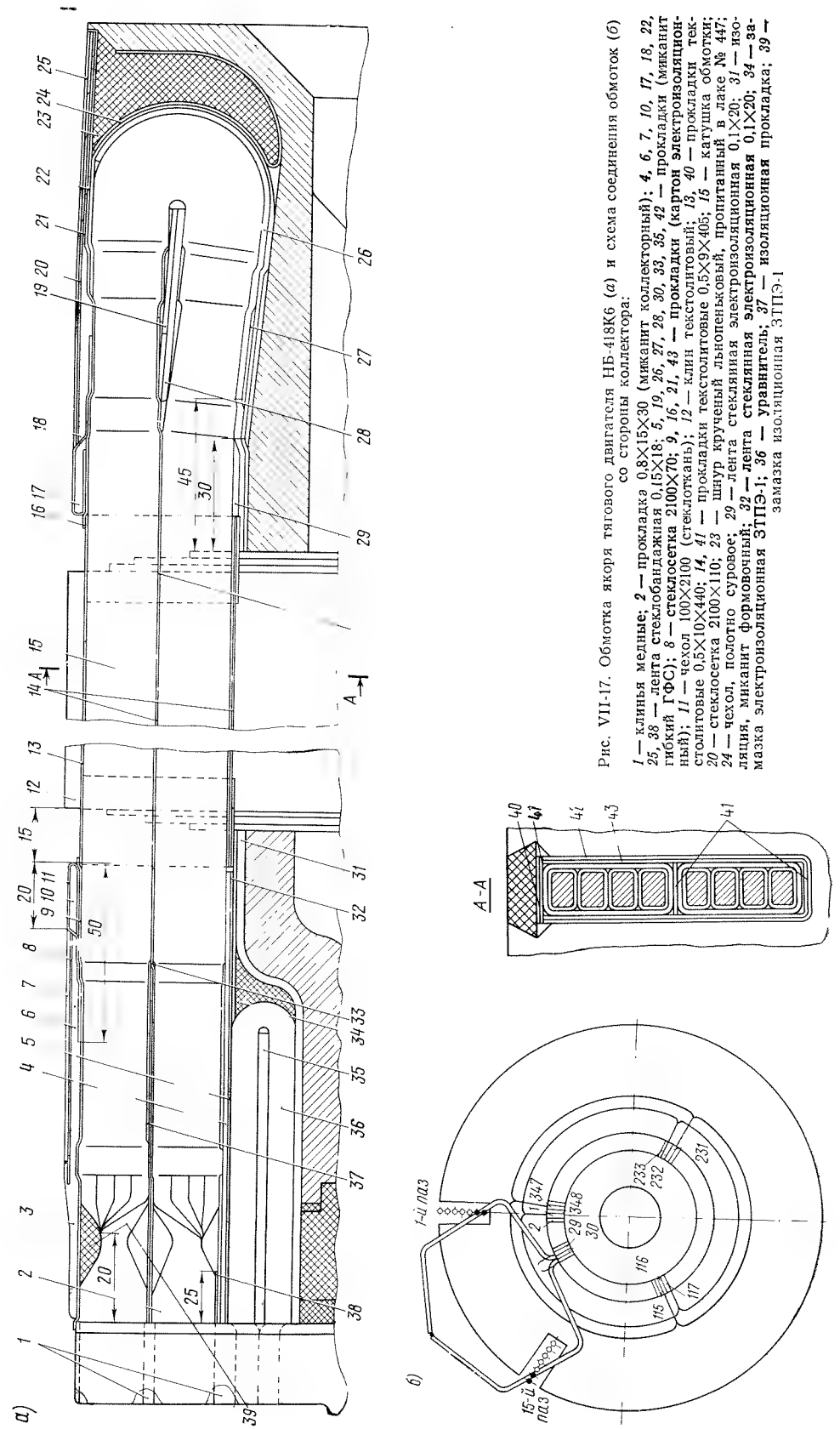


Рис. VII-17. Обмотка якоря тягового двигателя НБ-418К6 (*а*) и схема соединения обмоток (*б*) со стороны коллектора:

1 — клинья медные; *2* — прокладка 0,8×15×30 (миканит коллекторный); *4, 6, 7, 10, 17, 18, 22, 25, 38* — лента стеклобандажная 0,15×18; *5, 19, 26, 27, 28, 30, 33, 35, 42* — прокладки (миканит гибкий ГФС); *8* — стеклосетка 2100×70; *9, 16, 21, 43* — прокладки (картон электроизоляционный); *11* — чехол 100×2100 (стеклоткань); *12* — клин текстолитовый; *13, 40* — прокладки текстолитовые 0,5×10×440; *14, 41* — прокладки текстолитовые 0,5×9×405; *15* — катушка обмотки; *20* — стеклосетка 2100×110; *23* — шнур крученый льнопеньковый, пропитанный в лаке № 447; *24* — чехол, полотно суровое; *29* — лента стеклянная электроизоляционная 0,1×20; *31* — изоляция, миканит формовочный; *32* — лента стеклянная электроизоляционная 0,1×20; *34* — замазка электроизоляционная ЗТПЭ-1; *36* — уравнитель; *37* — изоляционная прокладка; *39* — замазка изоляционная ЗТПЭ-1

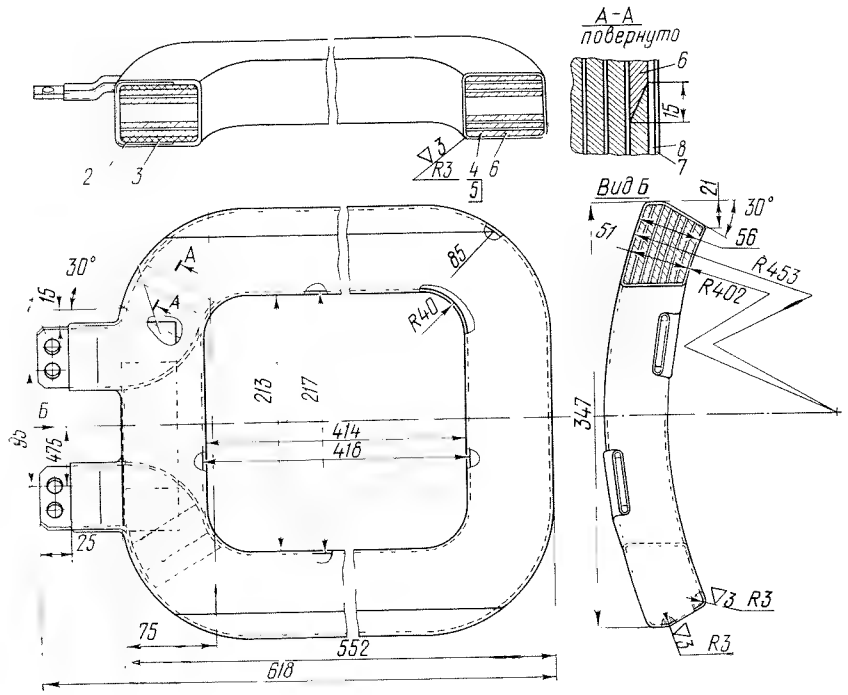


Рис. VII-18. Катушка главного полюса тягового двигателя НБ-418К6:

1 — шина выводная медная; *2* — изоляция (стекломиканит гибкий); *3* — замазка кремнийорганическая; *4, 5* — прокладка (бумага асбестовая электроизоляционная); *6* — шина медная; *7* — микалента 0,13×30, пять слоев вполуперекрышу; *8* — лента стеклянная электроизоляционная 0,2×35, один слой вполуперекрышу

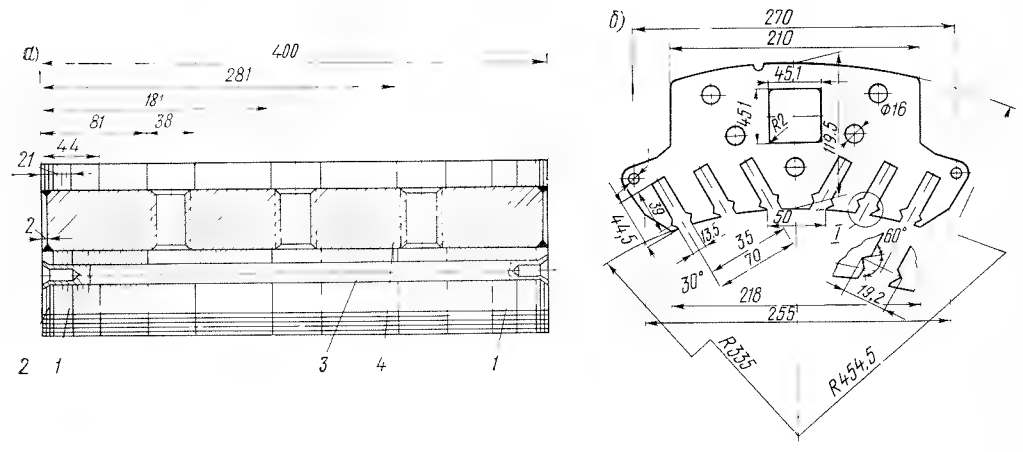
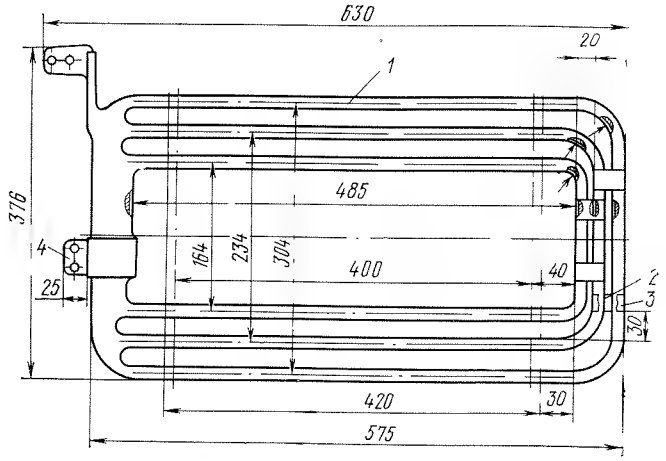


Рис. VII-19. Сердечник главного полюса (*а*) и лист сердечника (*б*) двигателя НБ-418К6.

1 — лист (сталь электротехническая); *2* — боковина (сталь конструкционная); *3* — заклепка; *4* — стержень

Рис. VII-20. Габаритные размеры компенсационной обмотки тягового двигателя НБ-418К6:

1 — обмотка; *2* — прокладка гетинаксовая 20×36; *3* — стеклолента электроизоляционная 0,1×20, накладывается крест-накрест по два слоя; *4* — вывод



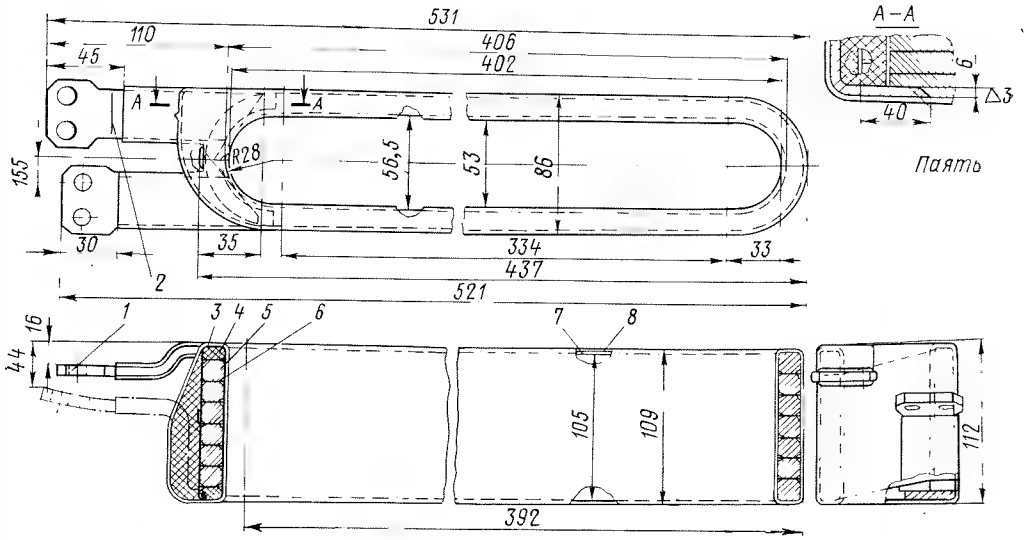


Рис. VII-21. Катушка добавочного полюса тягового двигателя НБ-418К6:

1, 2 — шины толщиной 6 мм (лист медный холоднокатаный твердый); *3* — изоляция (стекломиканит гибкий); *4* — прокладка 1×45×50 (электронит); *5* — проволока медная прямоугольная 12,5×12,5; *6* — прокладка (бумага асбестовая электроизоляционная); *7* — лента стеклянная электроизоляционная 0,2×35, один слой вполуперекрышу; *8* — микалента 0,13×30, пять слоев вполуперекрышу

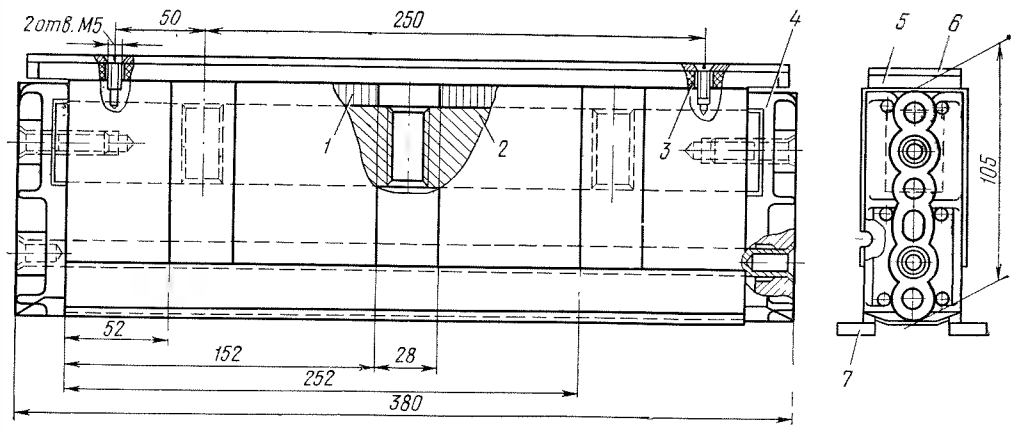


Рис. VII-22. Сердечник добавочного полюса тягового двигателя НБ-418К6:

1 — лист полюсный (сталь электротехническая); *2* — стержень (сталь квадратная калиброванная); *3* — винт М5×16; *4* — боковина толщиной 24 мм (сталь конструкционная); *5* — прокладка толщиной 7,5 мм (текстолит); *6* — прокладка стальная толщиной 3 мм; *7* — наконечник полюсный

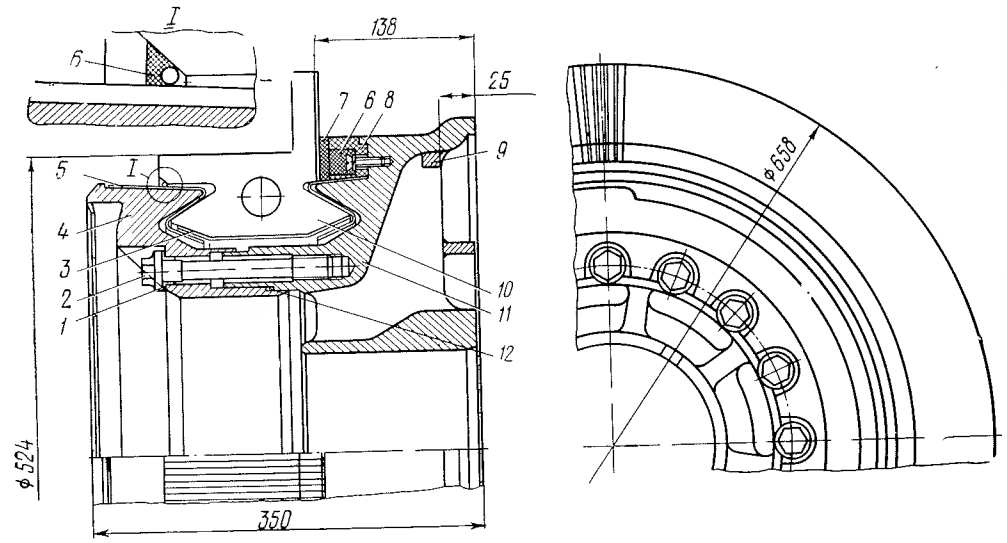


Рис. VII-23. Коллектор тягового двигателя НБ-418К6:

1 — шайба уплотняющая (мягкая отожженная медь); *2* — болт коллекторный (сталь конструкционная легированная сортовая); *3* — цилиндр толщиной 1 мм (миканит формовочный); *4* — конус нажимной (отливка стальная); *5* — манжета миканитовая толщиной 2,4 мм; *6* — замазка термореактивная изоляционная; *7* — лента стеклянная электроизоляционная 0,2×35; *8* — изолятор (прессмасса АГ-4); *9* — груз балансировочный; *10* — коллекторная пластина (медь коллекторная с присадкой серебра); *11* — втулка коллектора (отливка стальная); *12* — замазка уплотнительная ТГ-18

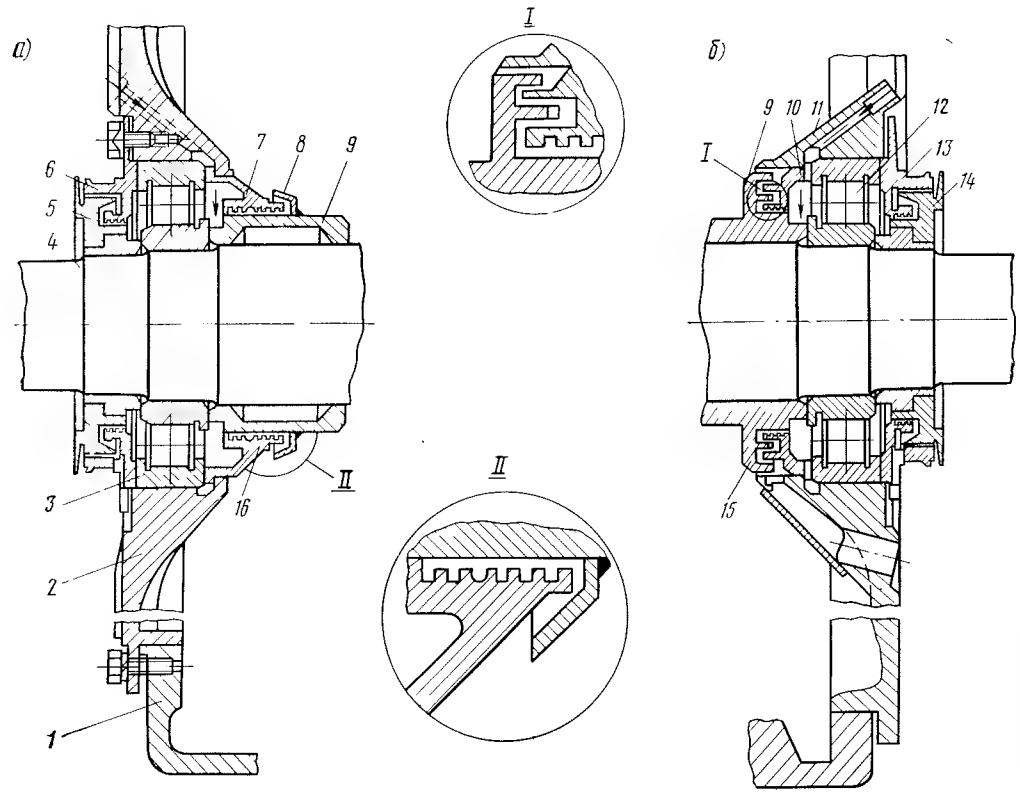


Рис. VII-24. Подшипниковые щиты тягового двигателя НБ-418К6 со стороны коллектора (*а*) и с противоположной стороны (*б*):

1 — остов; *2, 11* — подшипниковые щиты; *3, 12* — подшипники роликовые; *4* — вал якоря; *5, 14* — кольца уплотнительные; *6, 7, 10, 13* — крышки подшипника; *8* — фланец; *9* — втулка; *15* — вертикальное лабиринтное уплотнение; *16* — горизонтальное лабиринтное уплотнение

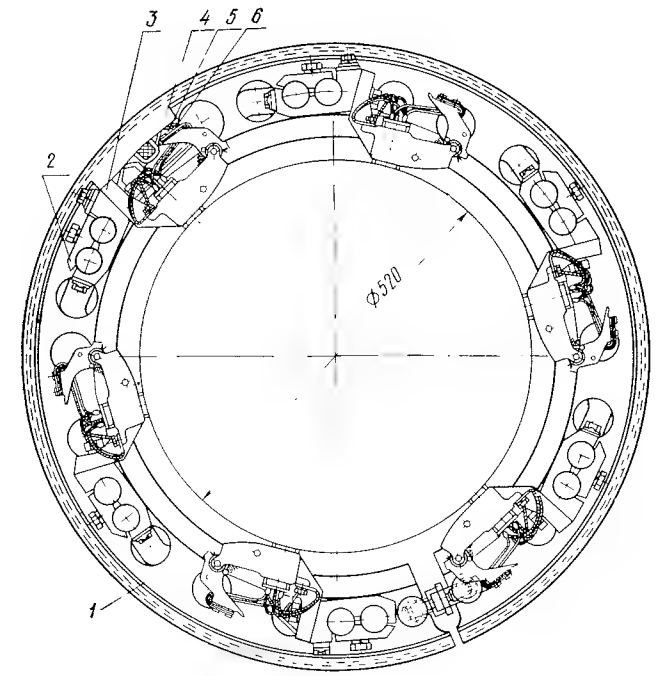


Рис. VII-25. Траверса щеткодержателя тягового двигателя НБ-418К6:

1 — траверса (отливка стальная); *2* — кронштейн; *3* — щеткодержатель; *4* — накладка; *5* — нажимной палец; *6* — подкладка

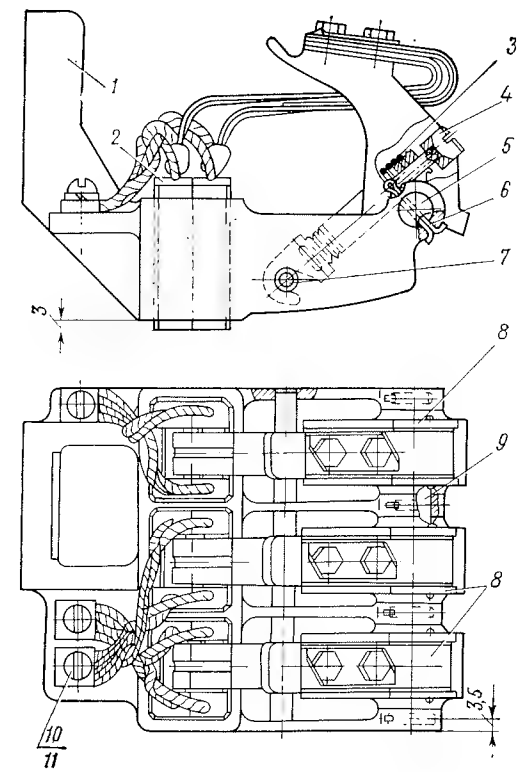
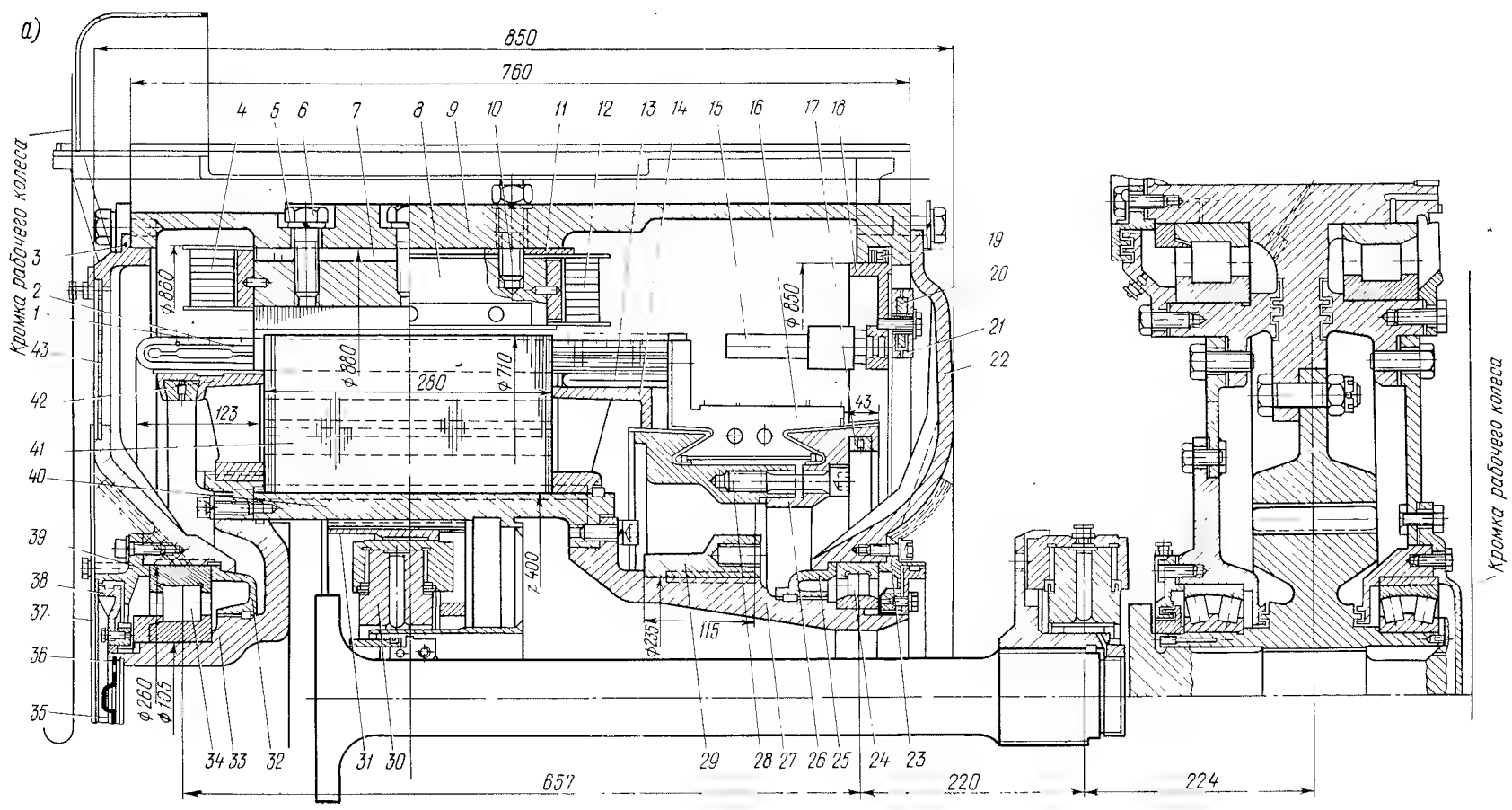


Рис. VII-26. Щеткодержатель тягового двигателя НБ-418К6:

1 — корпус (отливка латунная); *2* — щетка; *3* — пружина; *4* — винт регулировочный; *5, 7, 9* — оси (сталь круглая калиброванная); *6* — шплинт; *8* — палец нажимной; *10* — винт; *11* — шайба пружинная



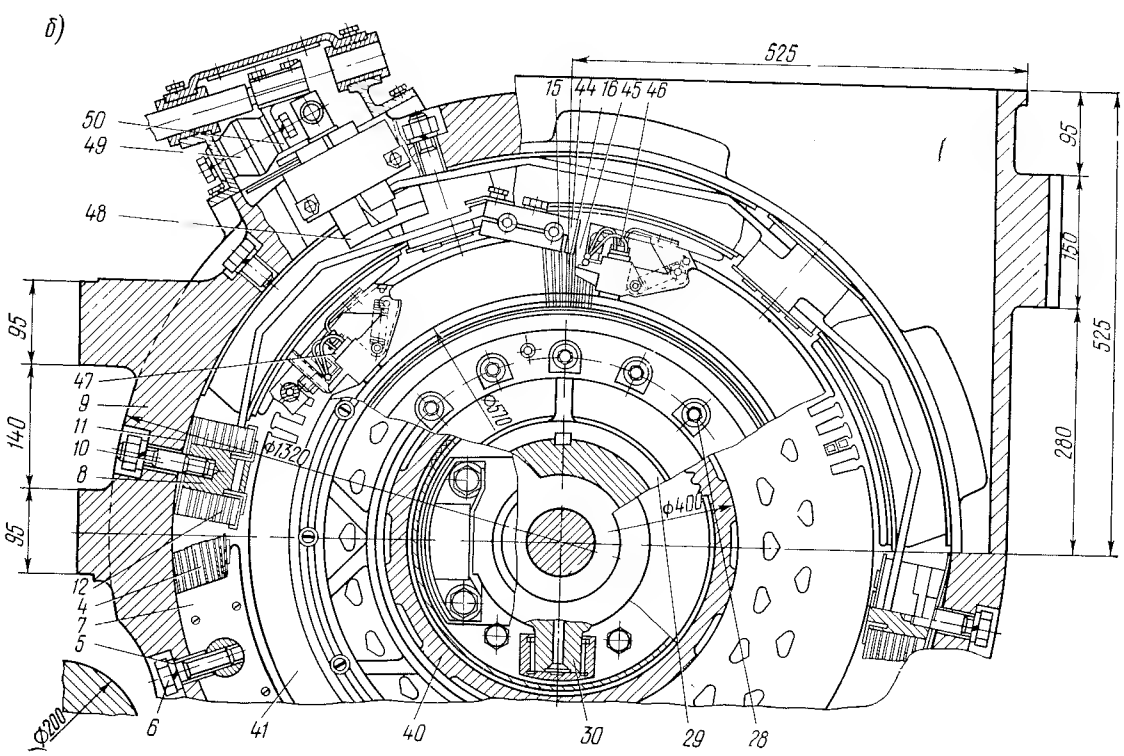


Рис. VII-27. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы двигателя AL-4442пР:

1 — бандаж; *2* — катушки обмотки якоря; *3, 22* — подшипниковые щиты; *4* — катушка главных полюсов; *5* — пружинная шайба; *6* — болт главного полюса; *7* — сердечник главного полюса (стальные листы толщиной 1 мм); *8* — сердечник добавочных полюсов, массивный; *9* — остов (литье из специальной стали); *10* — болт добавочного полюса; *11* — прокладка стальная; *12* — катушка добавочного полюса; *13* — уравнитель; *14, 42* — обмоткодержатели; *15* — палец щеткодержателя; *16* — коллекторная пластина; *17* — балансировочный груз; *18* — щеточная траверса; *19* — цепь для поворачивания траверсы; *20* — шины, соединяющие щеткодержатели одинаковой полярности; *21* — клицы, крепящие соединительные шины; *23, 25, 32* — крышки подшипниковой камеры; *24, 34* — роликовые подшипники; *26* — зажимной конус коллектора; *27, 33* — пустотелые хвостовики коробки якоря; *28* — коллекторный болт из специальной стали; *29* — корпус коллектора; *30* — шарнирная муфта передачи; *31* — поршень шарнирной муфты; *35* — крышка подшипниковой камеры с резиновым уплотнением; *36* — предохранитель; *37, 39* — крышки; *38* — маслоотражательное кольцо; *40* — **втулка**; *41* — **сердечник** якоря (листовая электротехническая сталь); *43* — листовое кольцо, закрывающее на валу отверстия для прохода воздуха в подшипниковом щите; *44* — кронштейн щеткодержателя; *45* — щеткодержатель; *46* — пружина щеткодержателя; *47* — щетка; *48* — вывод в коробку зажимов; *49* — микалексный изолятор; *50* — латунный зажим

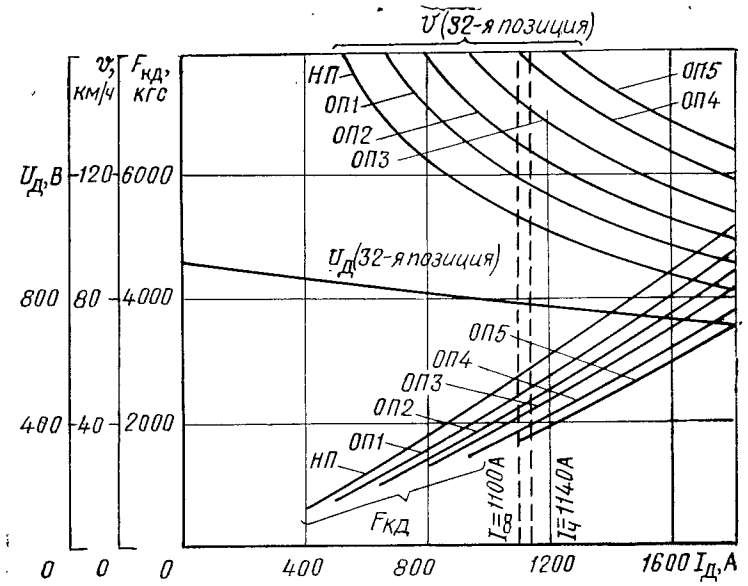


Рис. VII-28. Электромеханические характеристики тягового двигателя AL4442 пР

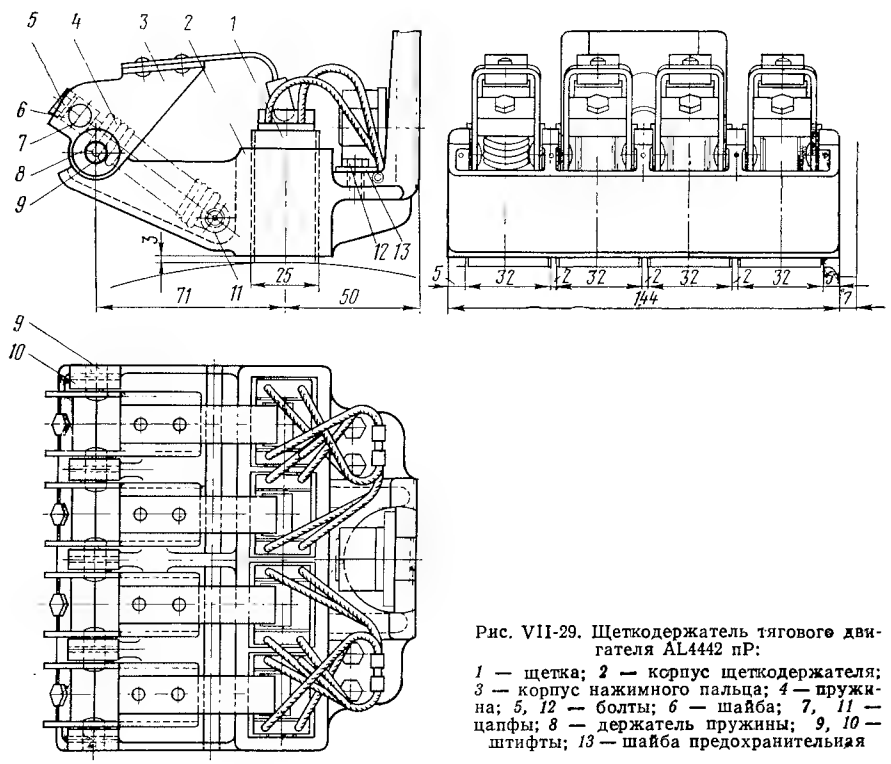


Рис. VII-29. Щеткодержатель тягового двигателя AL4442 пР:

1 — щетка; *2* — корпус щеткодержателя; *3* — корпус нажимного пальца; *4* — пружина; *5, 12* — болты; *6* — шайба; *7, 11* — цапфы; *8* — держатель пружины; *9, 10* — штифты; *13* — шайба предохранительная

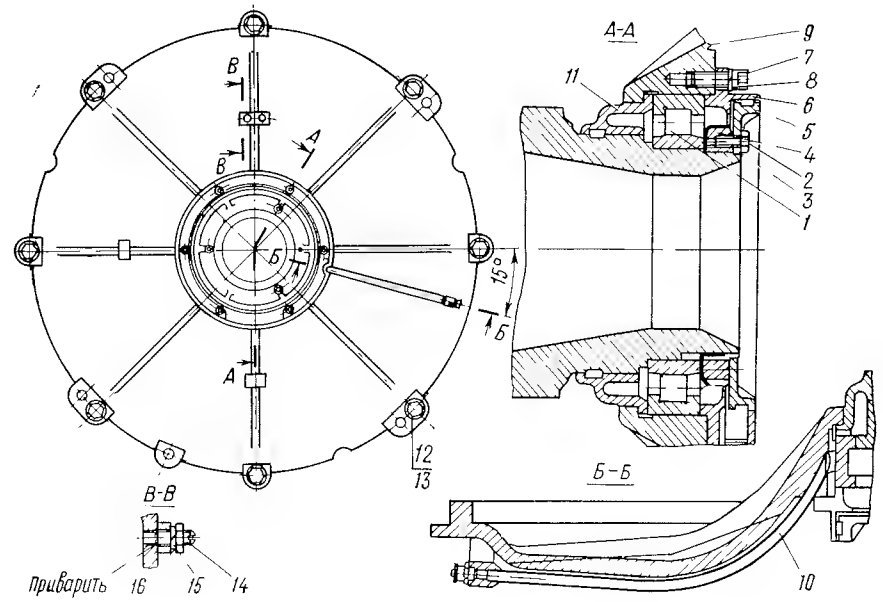


Рис. VII-30. Подшипниковый щит тягового двигателя AL4442пР со стороны коллектора:

1 — радиальный роликовый подшипник NU 1034 м/С4; *2* — болт М8×20; *3, 8, 13, 16* — шайбы; *4, 15* — гайки; *5* — маслоотбойное кольцо; *6* — передняя крышка подшипниковой камеры; *7, 14* — болты М12×30; *9* — подшипниковый щит; *10* — трубка для смазки; *11* — задняя крышка подшипниковой камеры; *12* — болт

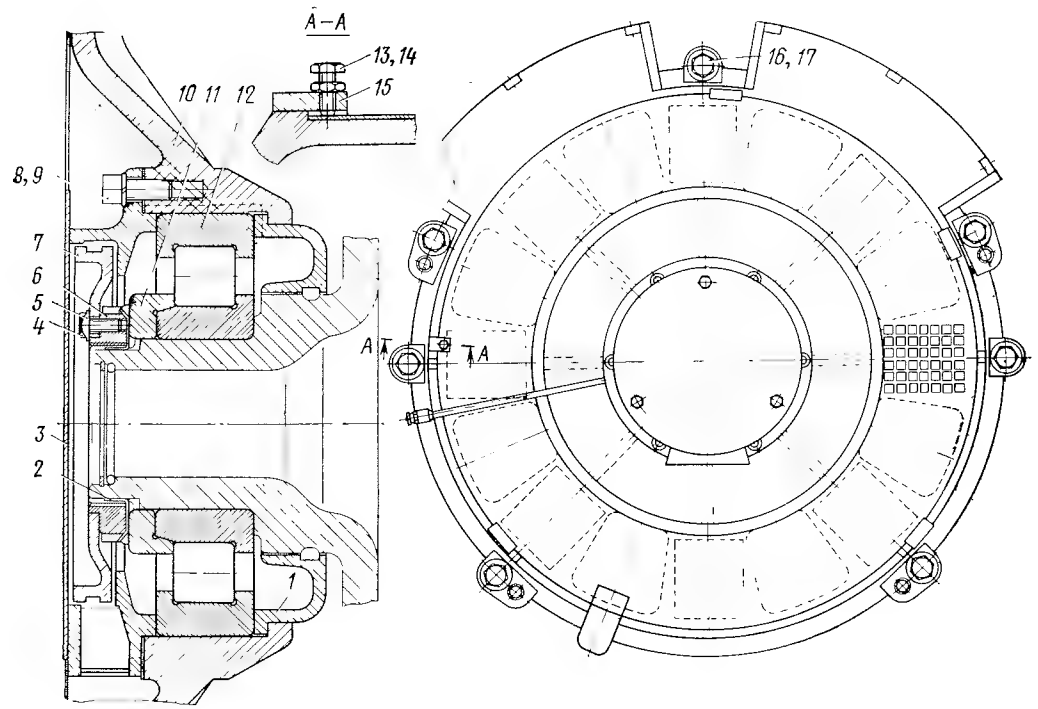


Рис. VII-31. Подшипниковый щит тягового двигателя AL4442пР со стороны, противоположной коллектору:

1 — задняя крышка подшипниковой камеры; *2* — прокладка; *3* — крышка; *4, 13* — болты М8×20; *5, 9, 17* — шайбы; *6, 14* — гайки; *7* — маслоотбойное кольцо; *8* — болт М12×30; *10* — подшипниковый щит; *11* — запорное кольцо подшипника; *12* — радиально-упорный роликовый подшипник NH 421/МС5; *15* — подкладка; *16* — болт М20×40

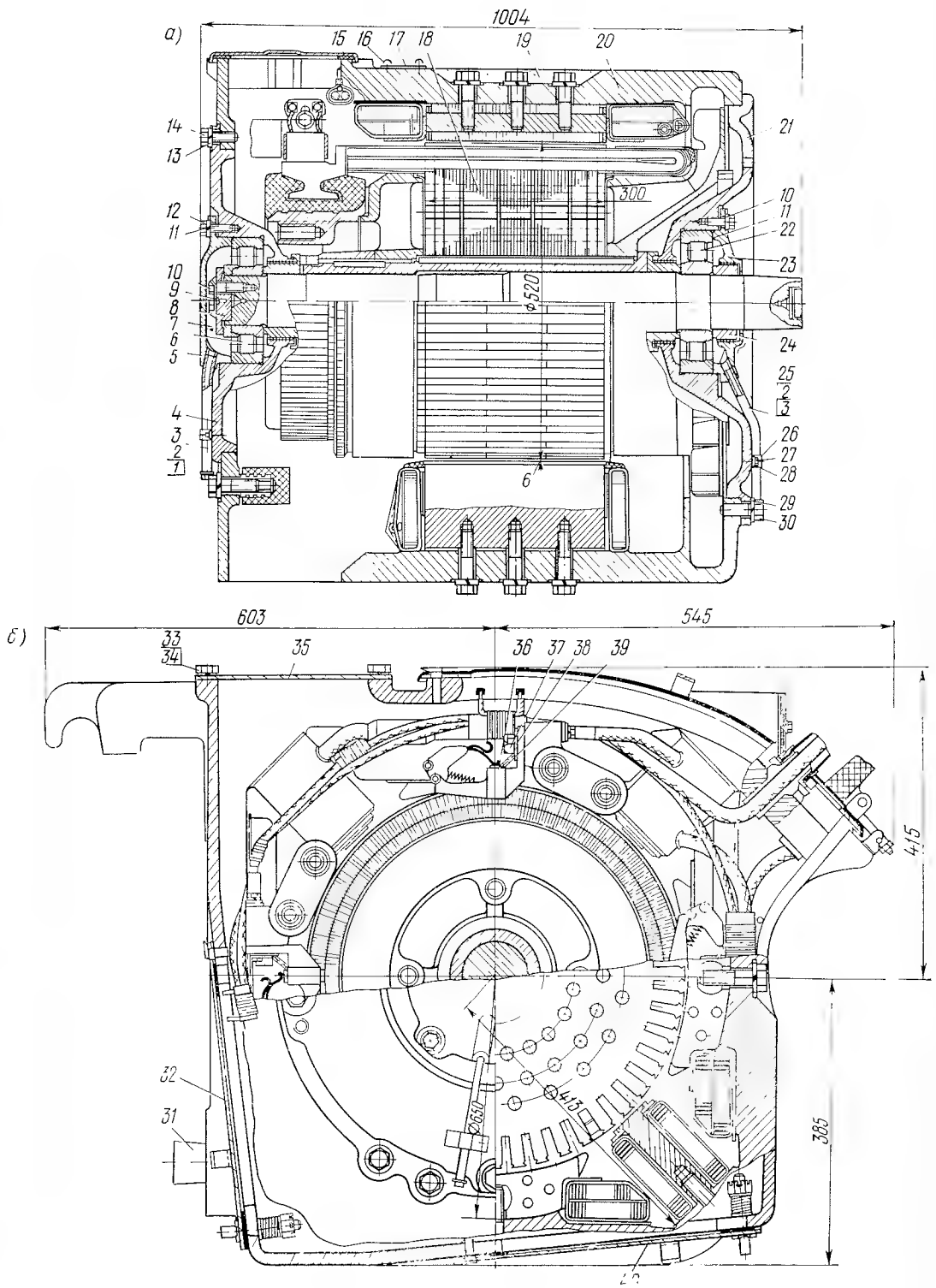


Рис. VII-32. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы двигателя УРТ-110А:

1 — болт М10×20; *2, 11, 13, 28, 29, 34, 32* — шайбы пружинные; *3* — трубка; *4, 21* — щиты подшипниковые; *5, 23* — крышки подшипника; *6* — роликовый подшипник радиально-упорный 8Н 62417; *7* — смазка 1Л-3; *8* — диск; *9* — шайба стопорная; *10* — болт М16×50; *12* — болт М16×35; *14* — болт М20×45; *15, 32* — крышки; *16* — заклепка; *17* — щиток заводской; *18* — якорь; *19* — компаунд; *20* — остов; *22* — радиальный роликовый подшипник 8Н32419Т; *24* — втулка; *25* — трубка; *26* — скоба; *27* — болт М6×16; *30* — болт М24×60; *31* — пробка; *33* — болт М12×25; *35* — заглушка; *36* — корпус щеткодержателя; *37* — болт М16×40; *39* — шайба; *40* — крышка нижняя

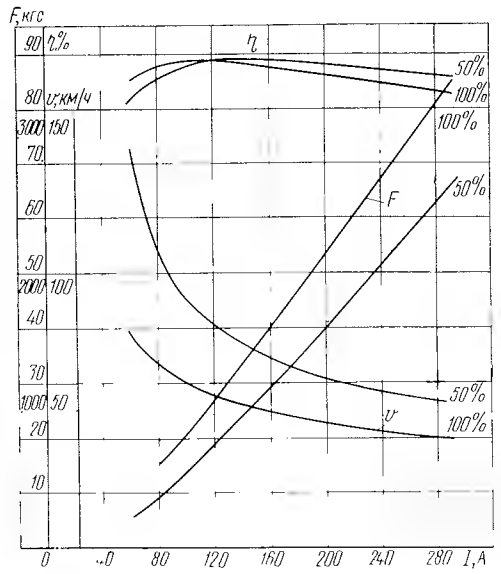


Рис. VII-33. Электромеханические характеристики тягового двигателя УРТ-110А при $U_д$=1500 В, $D_{дк}$=1050 мм и μ=3,17

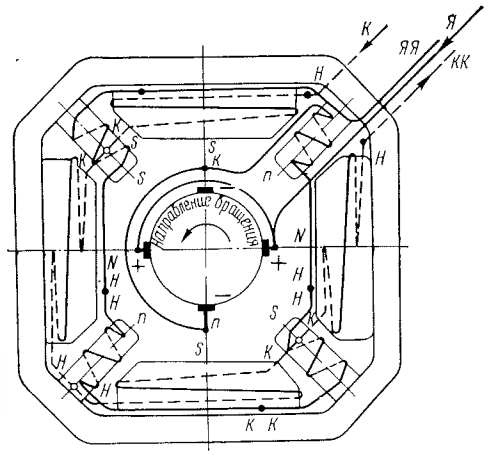


Рис. VII-34. Схема соединения обмоток тягового двигателя УРТ-110А со стороны коллектора

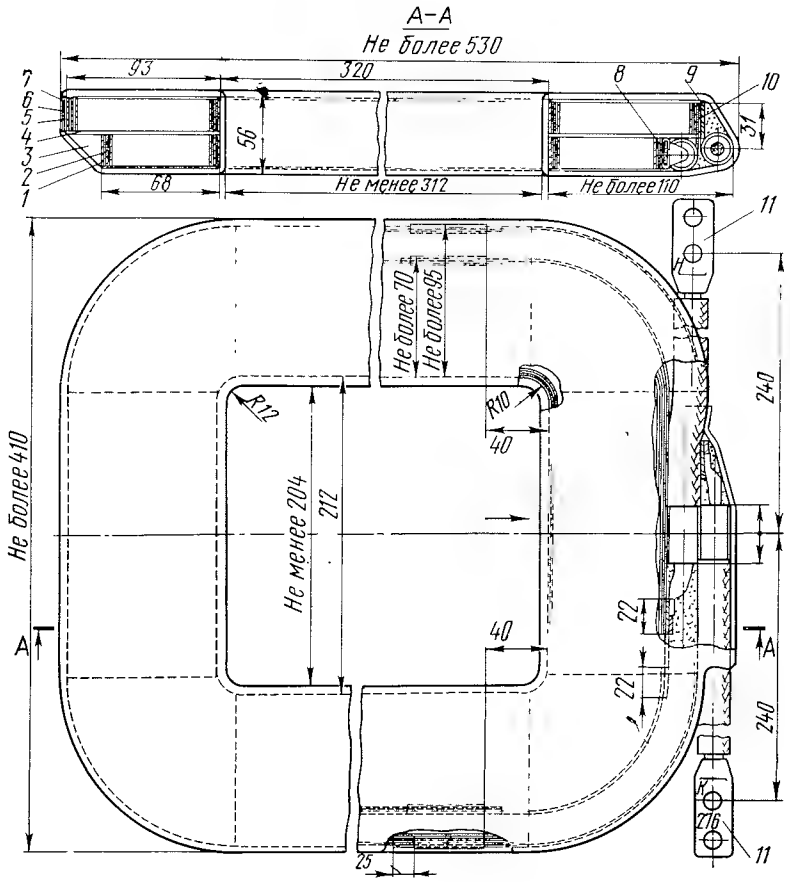


Рис. VII-35. Катушка главного полюса тягового двигателя УРТ-110А:

1 — лента медная, 1,68×22; *2* — бумага асбестовая электроизоляционная 0,3×23; *3* — замазка; *4* — рамка изолирующая; *5* — лента стеклянная 0,1×20; *6* — лента стеклоэскапоновая липкая 0,17×30; *7* — лента киперная 0,45×25; *8* — миканит прокладочный 25×70 мм; *9* — то же, 43×90; *10* — лента медная 1,81×25; *11* — наконечник выводного провода

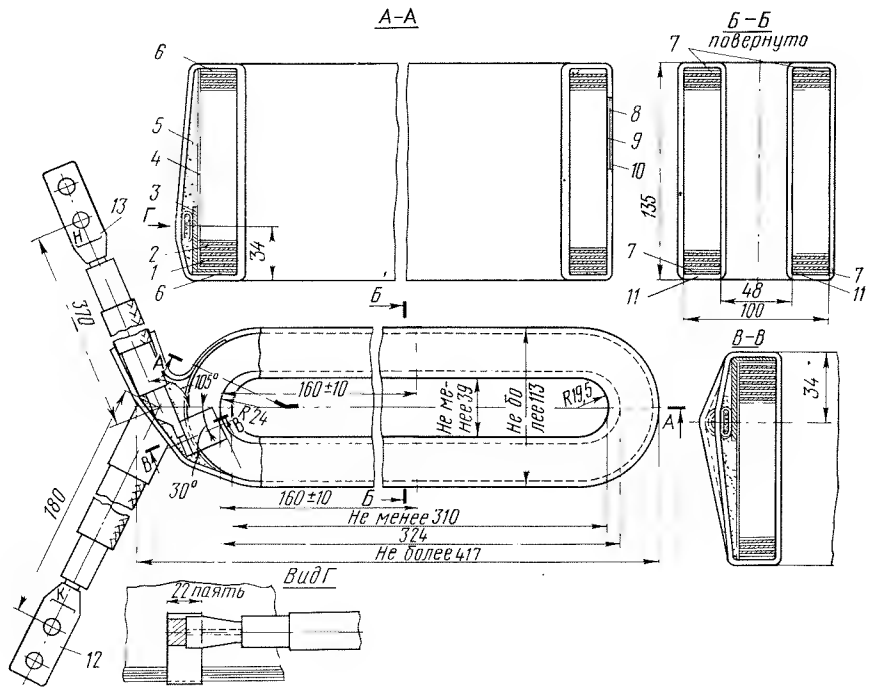


Рис. VII-36. Катушка добавочного полюса тягового двигателя УРТ-110А:

1, 3 — лента медная, 1,81×25; *2* — бумага асбестовая электроизоляционная; *4* — миканит гибкий 128×80; *5* — замазка; *6* — прокладка; *7, 11* — бумага асбестовая теплоизоляционная; *8* — лента липкая стеклоэскапоновая; *9* — лента стеклянная 0,1×20; *10* — лента киперная 0,45×25; *12, 13* — провода

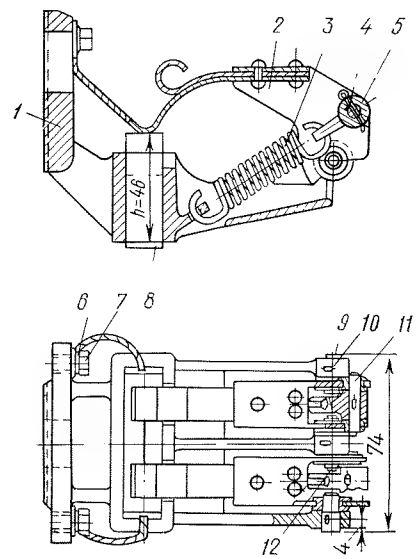
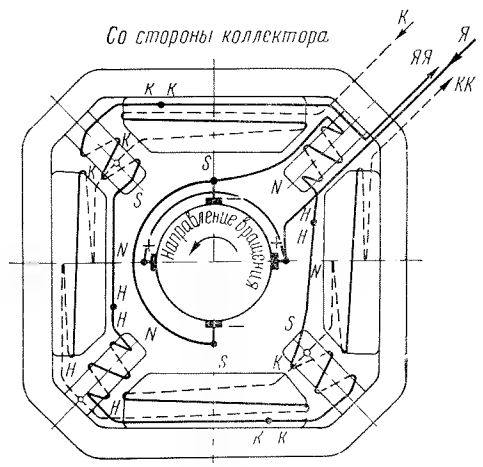


Рис. VII-37. Щеткодержатель тягового двигателя УРТ-110А:

1 — корпус щеткодержателя; *2* — палец нажимной; *3* — пружина; *4* — шплинт 2,5×16; *5* — пружинодержатель; *6* — шайба пружинная; *7* — болт; *8* — щетка ЭГ-2А (16×32×50); *9* — ось; *10* — шплинт 2,5×25; *11, 12* — оси



Направление вращения	Соединение концов кабеля при реверсировании
	Я — К; ЯЯ — КК
	ЯЯ — К; Я — КК

Рис. VII-38. Схема соединения обмоток тягового двигателя РТ-51Д

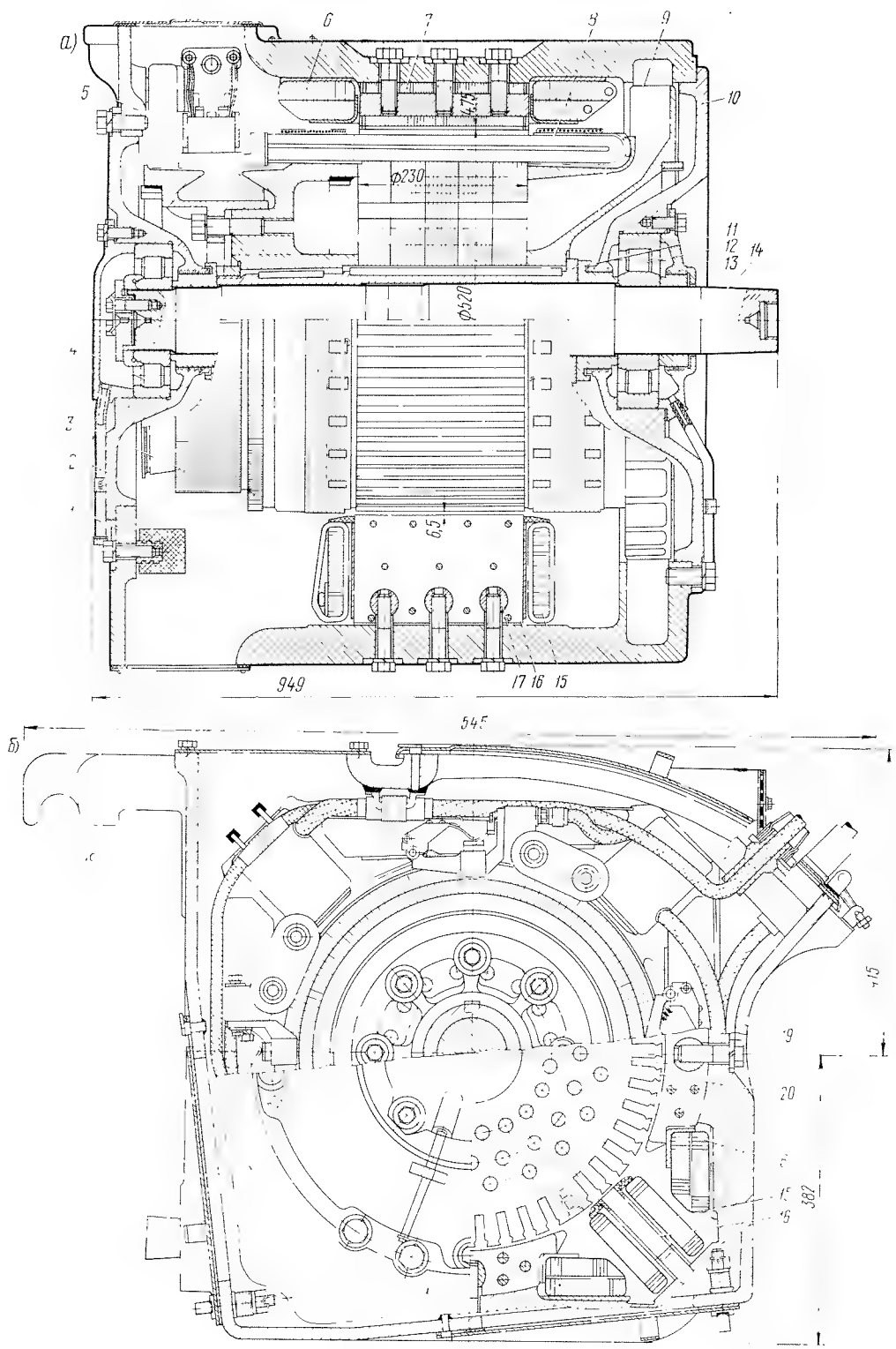


Рис. VII-39. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы тягового двигателя РТ-51Д:

1 — остов; *2* — передний подшипниковый щит; *3* — коллектор; *4* — радиально-упорный роликовый подшипник № 3Н624. 17К1; *5* — щеткодержатель; *6* — катушка главного полюса; *7* — сердечник главного полюса; *8* — катушка обмотки якоря; *9* — вентилятор; *10* — задний подшипниковый щит; *11* — втулка якоря; *12* — радиальный роликовый подшипник № 9Н32419; *13* — крышка задней подшипниковой камеры; *14* — вал двигателя; *15* — катушка добавочного полюса; *16* — сердечник добавочного полюса; *17* — стержень с нарезными отверстиями для болтов крепления полюса; *18* — опорные выступы для подвески двигателя; *19* — прилив для предохранения двигателя от падения на рельсовый путь; *20* — сердечник якоря

В подшипниковых узлах тягового двигателя НБ-418К (см. рис. VII-24) используют всевозможные виды уплотнений. Обе подшипниковые камеры снабжены тарелочными концентрическими лабиринтными уплотнителями, гидравлическими и, наконец, уплотнением сальниками — фетровыми прокладками, заложенными в кольцевые выемки внешних крышек подшипниковых камер. Радиальные зазоры в тарелочных лабиринтах не более 0,5 мм, а осевые на 1 мм больше осевого перемещения вала, допускаемого подшипниками, с учетом положительных допусков всей размерной цепи: вал — подшипник — остов — подшипник.

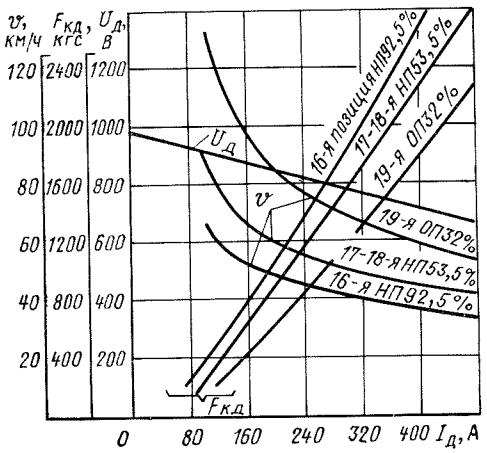


Рис. VII-40. Электромеханические характеристики тягового двигателя РТ-51Д при $\mu = 3{,}17$ и $U_т = 25\,000$ В

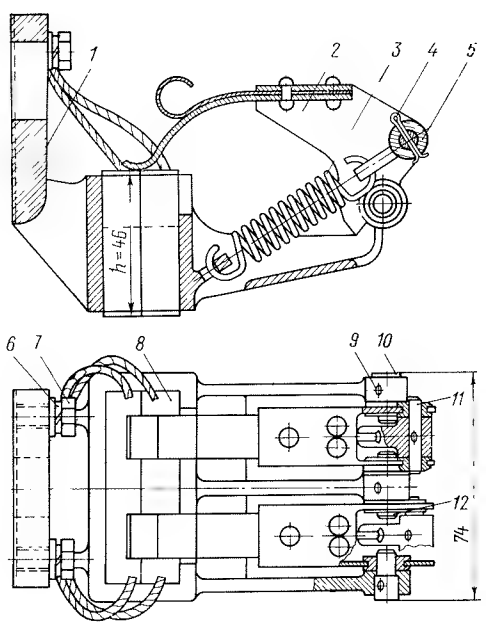


Рис. VII-41. Щеткодержатель тягового двигателя РТ-51Д:

1 — корпус щеткодержателя; *2* — палец нажимной; *3* — пружина; *4* — шплинт 2,5×16; *5* — пружинодержатель; *6* — шайба пружинная; *7* — болт; *8* — щетка ЭГ-2а (25×32×50); *9* — шплинт 2,5×25; *10, 11, 12* — оси

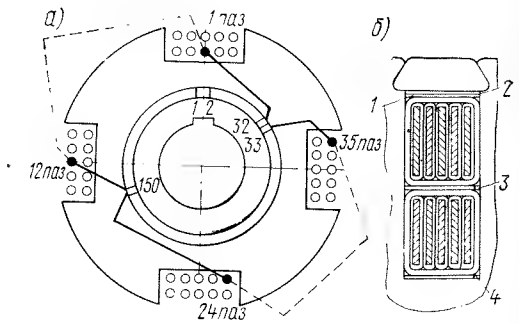


Рис. VII-42. Укладка катушек обмотки на якоре (*а*) и расположение обмоток в пазу (*б*) тягового двигателя РТ-51Д:

1 — прокладка (электрокартон 1×13,5×230, один слой); *2* — прокладка (текстолит 1,0×13,5×230); *3* — прокладка (эскапоновый стеклофолий 13,5×230, два слоя); *4* — прокладка (эскапоновый стеклофолий 13,5×230, четыре слоя)

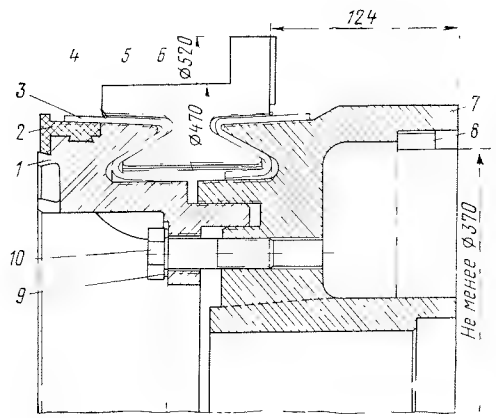


Рис. VII-43. Модернизированный коллектор (на стальных конусах) тягового двигателя РТ-51Д:

1 — конус нажимной стальной; *2* — изоляционная накладка (пластмасса АГ-4); *3* — манжета миканитовая; *4* — лента стеклянная, скрученная в жгут; *5* — пластина коллектора; *6* — цилиндр изолирующий; *7* — втулка коллектора, стальная; *8* — груз балансировочный; *9* — шайба; *10* — болт шестигранный калиброванный

Лабиринтные кольца и втулки выполняют из стали 45. Наружные крышки подшипниковых камер делают всегда отъемными, а внутренние или отливают заодно с подшипниковым щитом (см. рис. VII-32, *а*) или изготовляют также отъемными (см. рис. VII-1, *а*; VII-9, *а*).

Моторно-осевые подшипники. Эти подшипники состоят из приливов к остову с цилиндрическими расточками, вкладышей и шапок, которые крепят к остову четырьмя болтами. Шапки отливают из стали ЛКII. Они имеют развитые камеры, где помещается смазка и устройства для подачи

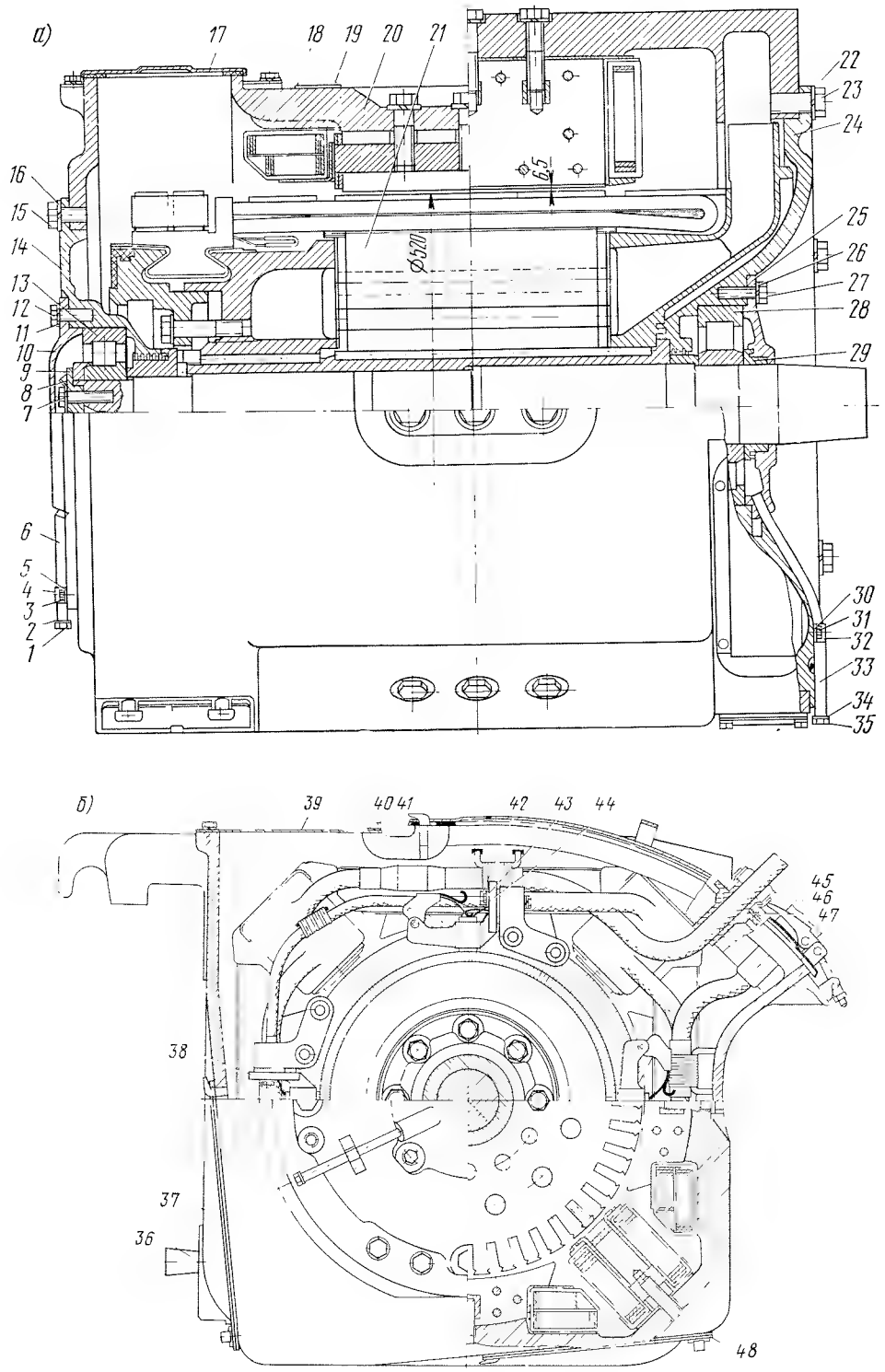


Рис. VII-44. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы тягового двигателя РТ-117:

1 — болт М10×20; *2, 11, 16, 26, 30, 34, 41, 43* — шайбы пружинные; *3, 31* — болты М6×16; *4, 32* — скобы; *6, 33* — трубка; *7* — болт М16×50; *8* — шайба стопорная; *9* — диск; *10, 25* — крышка подшипника; *12, 27, 42* — болты М16×40; *13* — роликовый подшипник 8Н62417К; *14, 24* — щиты подшипниковые; *15* — болт М20×40; *17* — крышка коллекторного люка; *18* — щиток заводской; *19* — заклепка 3×10; *20* — остов; *21* — якорь; *22* — шайба стопорная; *23* — болт М20×50; *28* — роликовый подшипник 8Н32419М; *29* — втулка; *35* — болт М10×20; *36* — пробка; *37* — крышка смотровая боковая; *38* — щеткодержатель; *39* — заглушка; *40* — болт М12×25; *44* — шайба; *45* — рукав брезентовый; *46* — лента смоляная 0,5×50; *47* — кабельная масса; *48* — крышка нижнего смотрового люка

ее к оси. Для лучшей фиксации шапок в приливах остова вдоль цилиндрической расточки для вкладыша имеются пазы, а на посадочной стороне шапок — соответствующие продольные выступы, входящие в эти пазы с натягом.

Вкладыши моторно-осевых подшипников (разъемные, из двух половин), отливают из латуни марки ЛКС 80-3-3. Устанавливают вкладыши в горловину на шпонке, предохраняющей их от проворачивания, с натягом. В одной половине вкладыша имеется окно, через которое смазка подается к оси. Вкладыши заливают баббитом, толщина заливки 3—4 мм. Смазка жидкая: индустриальное масло летом марки 45, зимой марки 30.

Главные полюсы. Сердечники главных полюсов выполняют шихтованными. В некомпенсированных двигателях толщина листов обычно 1,5—2,0 мм. В двигателях с компенсационной обмоткой из-за возможного увеличения потерь в стали при зубчатом строении не только поверхности якоря, но и наконечников главных полюсов сердечники их набирают из электротехнической стали толщиной 0,5 мм марки Э-22. Концевые листы выполняют толщиной 1,5—4,0 мм с общей толщиной 8—12 мм на сторону.

Шихтованный сердечник полюса прессуется давлением около 150 тс и в спрессованном состоянии удерживается стержнями-заклепками. После сборки сердечники покрывают лаком БТ-99.

В тяговых двигателях отечественных заводов пазы для размещения компенсационной обмотки открытые со стенками, параллельными осевой линии добавочных полюсов. Это позволяет катушки компенсационной обмотки изготавливать отдельно и готовые закладывать в пазы полюсов.

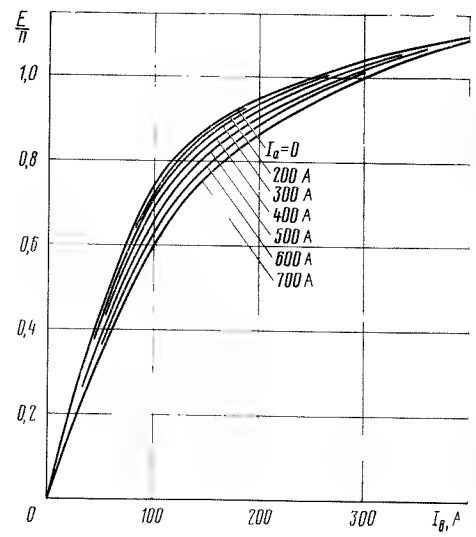


Рис. VII-46. Нагрузочные характеристики тягового двигателя РТ-117

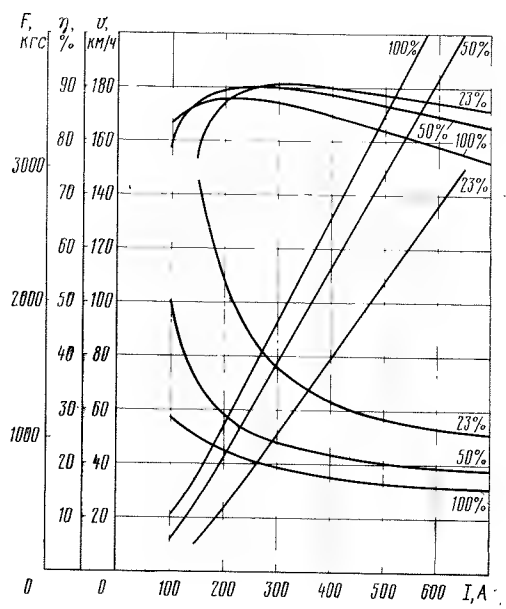


Рис. VII-45. Электромеханические характеристики тягового двигателя РТ-117 на ободе колеса моторного вагона электропоезда ЭР22 при $D_к$=1050 мм; μ=3,41; $U_д$=750 В; β=1,0; 0,5; 0,23

Наконечники главных полюсов некомпенсированных двигателей имеют очертание, обеспечивающее неравномерный воздушный зазор: минимальный под серединой полюса $\delta_ц$ и увеличивающийся к его краям до значения $\delta_{кр}$.

В настоящее время наиболее часто применяются эксцентричные воздушные зазоры. Образуются они очертанием окружности якоря и дуги полюсного наконечника радиусами различной величины, причем описываются они из центров, расположенных на осевой линии главных полюсов, но смещенных друг относительно друга на величину ε, называемую эксцентриситетом.

От формы полюсного наконечника зависит распределение индукции в воздушном зазоре машины, а в конечном счете распределение межламельного напряжения, величина и место его максимального значения.

В компенсированных машинах дуги полюсных наконечников очерчиваются концентрично с поверхностью якоря, образуя равномерный воздушный зазор $\delta = \delta_ц = \delta_{кр}$. Стойкость машины в отношении возникновения кругового огня на коллекторе обеспечивает компенсационная обмотка.

Катушки главных полюсов наматывают из голой шинной меди МГМ. В двигателях с восьмигранным остовом НБ-406, ДК-106, УРТ-110, РТ-51Д, РТ-113, а также AL4846eT (см. рис. VII-35) катушки наматывают плашмя в два слоя по высоте полюса. Слои разделяют изоляционной прокладкой. Переход из одного слоя в другой осуществляется изгибом шины без нарушения ее целостности.

В настоящее время в двигателях электровозов с круглым остовом катушки главных полюсов наматывают обычно на узкое ребро (см. рис. VII-18). Это позволяет формовать катушки по радиусу, сопрягая с расточкой в остове, что обеспечивает лучшее охлаждение катушек, большую их компактность и прочность и, кроме того, дает возможность уменьшить высоту сердечника главных полюсов, а следовательно, и диаметр остова. Намотка таких катушек производится на специальных станках.

Для устранения утолщений в местах изгиба и лобовых частях катушки опрессовывают в специальных приспособлениях под давлением 400—500 кгс/мм² и отжигают при температуре 650—750° С.

К концам обмотки приклепывают и припаивают припоем ПМФ выводные скобы с патронами или выводные провода с наконечниками. В качестве межвитковой изоляции используют асбестовую бумагу или электронит толщиной 0,3—0,5 мм, выступающие за ленту меди на 1—2 мм на сторону. В процессе изготовления катушки дважды компаундируют.

Катушки, намотанные на ребро, после установки в них межвитковой изоляции и изолирования выводных скоб прессуют по высоте в специальных приспособлениях под давлением 70—80 тс, сушат и изолируют. При окончательной обработке катушки красят, погружая их в лак БТ-99.

Размеры обмоточной меди, числа витков катушек, класс изоляции и ее конструкция у катушек главных полюсов двигателей отдельных типов приведены ниже в табл. VII-4 и на рис. VII-18, VII-35.

Крепление катушек главных полюсов производят у всех двигателей затяжкой их между остовом и заплечиками сердечников полюсов тремя-четырьмя болтами М20—М24 из стали 45 или хромоникелевой стали 40Х. Головки болтов верхних полюсов утоплены в тело остова и для герметизации залиты компаундом. Для предотвращения механических повреждений изоляции между катушками и сердечниками полюсов помещают предохранительные стальные фланцы из Ст2 толщиной 1 мм.

Для компенсации тепловых деформаций, возникающих динамических сил и усыхания изоляции катушек между катушками и опорными выступами полюсных наконечников помещают волнистые пружинящие пластины толщиной 3—4 мм из стали 45 или 60 $С_2$, скрепленные поперечинами из стальных полос.

Компенсационная обмотка выполнена в виде отдельных катушек, уложенных в пазы наконечников главных полюсов, и закреплена в них текстолитовыми клиньями. Конструкция компенсационных обмоток отдельных машин и их изоляция приведены на рис. VII-20, а число витков и размер меди — см. в табл. VII-4.

Добавочные полюсы. Сердечники добавочных полюсов тяговых двигателей постоянного тока ДК-103, ДК-106, УРТ-110А, РТ-113, НБ-406 выполнены литыми из стали 25Л, а двигателей пульсирующего тока — шихтованными из стали Э-13, Э-22 с толщиной листов 0,5 мм.

Для удержания катушек у сердечников некоторых двигателей (ДК-103, ДК-106, УРТ-110А) имеются боковые выступы, отлитые вместе с сердечниками, у двигателей других типов эти опоры выполняются приклепанными к сердечнику угольниками из латуни или из кремнистой латуни (двигатели РТ-113, НБ-406, НБ-418К и др.).

Катушки добавочных полюсов наматывают на узкое ребро из мягкой меди МГМ. Число витков, размеры меди и изоляция этих катушек приведены ниже в табл. VII-4 и на рис. VII-8, VII-21, VII-36.

При посадке катушки на сердечник для предотвращения повреждения изоляции, между ними помещают стальные предохранительные полуфланцы толщиной 1 мм из стали 75Г. Кроме того, между опорными элементами сердечника и катушкой ставят пружинные фланцы толщиной 2 мм из стали 45. Собранные добавочные полюсы крепят к остову болтами.

Болты добавочных полюсов современных мощных тяговых двигателей пульсирующего тока изготовляют из немагнитной стали, так как при обычных стальных болтах, шунтирующих магнитный поток в воздушном зазоре со стороны остова, не представляется возможным обеспечить у этих весьма напряженных машин удовлетворительную коммутацию.

Сердечники полюсов, фланцы, рамки и стальные прокладки окрашивают лаком БТ-99. Головки болтов верхних полюсов для герметизации утоплены в тело остова и залиты компаундной массой.

Якорь. Валы тяговых двигателей изготовляют из хромоникелевой стали 20ХН3А с термической обработкой. Валы выполняют с минимально возможным числом переходов по диаметру, причем последние осуществляются галтелями определенного радиуса для избежания концентрации напряжений. Задиры, поперечные риски не допускаются. Конусность концов вала 1 : 10.

Втулка якоря имеет или цилиндрическую форму (см. рис. VII-39, *а*) или коробчатую конструкцию (см. рис. VII-1, *а*) и отливается из стали 25ЛI. Втулку якоря напрессовывают на вал с усилием, величина которого для некоторых тяговых двигателей приведена в табл. VII-1.

Для уменьшения смятия материала посадку втулки на вал выполняют по двум или трем диаметрам, отличающимся на 1 мм. Посадка бесшпоночная. У посаженной на вал втулки обтачивают наружные поверхности под посадку задней нажимной шайбы, шихтованного сердечника якоря, передней нажимной шайбы и коробки коллектора.

Сердечник якоря собирают из отдельных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм марок Э-12, Э-13, Э-22, Э-310 или Э-320. В листах выштамповывают пазы для размещения обмотки, отверстия аксиальных вентиляционных каналов, место для посадочной шпонки;

Таблица VII-1

Усилия запрессовки деталей якоря, тс

Наименование деталей	Тяговые двигатели				
	НБ-406	НБ-412М	НБ-414В	НБ-418К	НБ-420А
Втулка якоря (на вал)	80—110,5	68—86	72—88	70—100	81—118
Задняя нажимная шайба (на втулку якоря)	4,3—12,3	10—18	7—22	5—13	6—21
Коллектор (на втулку якоря или на нажимную шайбу)	30—62	30—70	12—23	31—70	16—43
Сердечник якоря (на втулку)	110—115	120	95—100	135—150	114
Сердечник якоря вместе с коллектором или передней нажимной шайбой (на втулку)	140—175	110—150	76—92	96—135	72

листы покрывают дважды бакелитовым лаком или масляным лаком № 202. Толщина лаковой пленки 0,012—0,014 мм на сторону. После покрытия лаком листы сушат в электропечи при температуре 400° С. Для обеспечения плотности шихтованного сердечника крайние листы его делают из стали Ст2 толщиной 1 мм, сваривая их попарно, или из электротехнической стали 0,5 мм, склеивая листы клеем БФ-2 и просушивая пакеты под давлением. Толщина таких пакетов 15—20 мм.

Сборку пакета на втулку производят с допусками прессовой посадки. Усилия при запрессовке сердечника якоря приведены в табл. VII-1. Оси пазов сердечника якоря чаще всего параллельны осевой линии вала якоря. Иногда (например, у двигателей НБ-420А и GB317/23a) пазы выполняют скошенными на одно зубцовое деление.

Нажимные шайбы являющиеся одновременно и обмоткодержателями передних и задний лобовых соединений, отливают из стали 25ЛI.

Задняя нажимная шайба имеет закраину, защищающую головки задних лобовых соединений обмотки якоря (см. рис. VII-1,*а*), или снабжена съемным защитным фланцем. У некоторых двигателей защитных устройств нет и головки якорных катушек для улучшения их охлаждения оставляют открытыми. В тяговых двигателях с самовентиляцией (у электропоездов) на задней нажимной шайбе помещают вентилятор с радиальными лопатками, приболчиваемый или привариваемый к обмоткодержателю (двигатель ДК-103) или отливаемый с ним заодно (двигатели ДК-106, РТ-51Д и др.).

Передняя нажимная шайба в современных двигателях объединяется обычно с корпусом коллектора (см. рис. VII-1, *а*). Усилия запрессовки нажимных шайб приведены в табл. VII-1.

Внешнюю поверхность обмоткодержателей, на которую укладывают лобовые части катушек обмотки якоря или уравнителей, изолируют несколькими слоями асбестовой бумаги или гибкого миканита. Слои этой изоляции промазывают лаком БТ-99 и осаживают стальными проволочными бандажами с натяжением 160—200 кгс. Нажимные шайбы вместе с сердечником якоря покрывают в нагретом состоянии лаком 458 или 447 для предохранения от коррозии.

Кольца роликовых подшипников, лабиринтных уплотнений, упорных втулок сажают на валы горячей посадкой. Втулки и лабиринтные кольца изготовляют из стали 45 (ГОСТ 1050—60) или Ст5 (380—71). При изготовлении лабиринтных колец обеспечивают концентричность их поверхностей по отношению к поверхностям подшипниковых крышек, причем радиальные зазоры лабиринтных уплотнений не должны превышать 0,5 мм.

Обмотка якоря у всех современных тяговых двигателей электровозов петлевая с уравнительными соединениями первого рода, у тяговых двигателей электропоездов — волновая с числом параллельных ветвей $2a=2$. Параметры обмотки якорей тяговых двигателей и размеры их проводников приведены в табл. VII-4.

Секции современных тяговых двигателей выполняют с цельными головками, чаще всего закрываемыми бортом обмоткодержателя (двигатели НБ-406, НБ-412М, НБ-412К, НБ-414, НБ-418К, ДК-103, ДК-106Б, РТ-51Д, РТ-113, РТ-110А). У двигателей НБ-420, AL4846eT, AL4846zT, AL4442nP, ТАО-649В1, ТАО-649А1, GB317/23a головки секций открытые, это снижает нагрев обмоток, но увеличивается вероятность их повреждения.

Материал проводников — прямоугольная голая мягкая обмоточная медь МГМ.

Изоляция отдельных шинок обмотки якоря обычно класса В выполняется микалентой ЛФЧ толщиной 0,1 мм одним слоем вполуперекрышу. Корпусная изоляция делается также микалентой ЛФЧ толщиной 0,1 или 0,13 мм вполуперекрышу; число слоев зависит от напряжения машины по отношению к земле:

Напряжение по отношению к земле, В	750	1000	1500	2000	3000
Число слоев корпусной изоляции при толщине ленты 0,1 мм	3	4	5	6	8
То же при 0,13 мм	3	3	4	5	6

Поверх корпусной накладывают защитную покровную изоляцию из стеклоленты толщиной 0,15 мм, один слой встык.

В последнее время для изоляции якорных катушек применяют липкий эскапон, создающий монолитную изоляцию.

Располагают соседние стороны секции в пазах двигателей постоянного тока горизонтально в ряд. В двигателях моторных вагонов электропоездов (ДК-103, ДК-106) шинки секций сплошные, а в электровозных по высоте подразделяются на две (НБ-406) или на три части (AL4846eT, AL4846zT, AL4442nP).

В электровозных двигателях пульсирующего тока (НБ-412М, НБ-412К, НБ-414, НБ-420, НБ-418К, ТАО-649, GB317/23a) шинки секций укладывают плашмя, располагая в пазах вертикально. При этом уменьшаются добавочные потери в меди якоря и улучшается отвод тепла от меди обмоток. Некоторая технологическая сложность такой укладки заключается в выкручивании концов секций на 90°, их развальцовке для введения в шлицы пластин коллектора и отжига после названных операций для снятия внутренних напряжений. Концы секций перед впаиванием лудят припоем ПОС-40 в паяльной ванне. В качестве флюса используют раствор канифоли в спирте в соотношении 1 : 1.

При укладке и креплении обмотки якоря для усиления изоляции катушек в местах выхода из пазов сердечника якоря устанавливают U-образные скобочки из гибкого миканита.

Изоляцию нажимных шайб в местах расположения лобовых соединений катушек якоря выравнивают так, чтобы уровень ее после опрессовки был выше дна шлица коллекторных пластин на 1 мм и находился на уровне дна пазов якоря. Это необходимо для предотвращения изгиба проводников обмотки при бандажировке. Иногда эта изоляция выполняется в виде заранее отформованных жестких миканитовых полуколец (например, у двигателя ДК-103).

Обмотку осаживают временными бандажами и впаивают концы секций в петушки коллектора припоем ПОС-61 в индукционных печах при температуре 300—320° С в течение 12—15 мин.

Обмотку якоря всех тяговых двигателей в пазовой части крепят клиньями из текстолита марки Б, стеклотекстолита марки СТ или прессовочной массы АГ-4. Лобовые части обмотки якорей всех двигателей крепят бандажами.

У тяговых двигателей ДК-103, ДК-106, НБ-406, ТЛ-2К, AL4846eT, AL4846zT, ТАО-649В1, ТАО-649А1 и GB317/23a бандажи выполнены из луженой магнитной или немагнитной проволоки, скреплены скобочками из белой луженой жести и припаяны припоем ПОС-40. У всех двигателей, кроме ТАО-649А1 и ТАО-649В1, бандажная проволока круглая диаметром 2 мм, а у названных двигателей прямоугольная, размером 1,5 × 3 мм. В случае необходимости бандажи накладывают в два слоя. Двигатели НБ-414, НБ-418К, НБ-420Б выпускают со стеклобандажами из непрерывных параллельно ориентированных стеклонитей, пропитываемых полиэфирной смолой. Общая толщина бандажа 4 мм. Двигатели НБ-412М, НБ-412К, РТ-51Д выполнены с металлическими бандажами или стеклобандажами.

Бандажи (см. рис. VII-17) накладывают с натягом, обеспечивающим двойной запас прочности по отношению к пределу текучести материала бандажа. Натяг при бандажировке уравнителей электровозных двигателей 90—110 кгс. Натяг при наложении на лобовые части обмотки бандажей из стеклоленты 100—110 кгс. Если стальные бандажи на лобовые соединения накладывают в два слоя, то натяг верхнего слоя делается несколько меньше, чем верхнего (чтобы не разгрузить нижний). Так, нижний слой бандажей двигателя НБ-412М накладывают с натягом 205—240 кгс, а верхний с натягом 190—224 кгс.

Для предохранения проводников обмотки якоря от вибрации и лучшей защиты изоляции обмотки от атмосферных воздействий и загрязнения перед постановкой постоянных бандажей все пустоты у петушков коллектора и в местах выхода катушек из пазов сердечника заполняют замазкой ЭТПЭ-1, состоящей из полиэфира МГФ-9 (30 частей), полиэфира № 1 (20 частей), эпоксидной смолы (36,5 частей), малеинового ангидрида (13,5 частей) и талька (160 частей).

Коллектор. Коллекторы тяговых двигателей выполняют арочного типа со стальными зажимными конусами (см. рис. VII-1*а*, VII-9, *а*).

Материал коллекторных пластин — твердая медь холодной протяжки трапецеидального сечения марки М1 с пределом прочности 30 кгс/мм² и кадмиевая с пределом прочности 35 кгс/мм².

Медь коллекторов тяговых двигателей AL4846eT, AL4846zT, ТАО-649АI, ТАО-649ВI, НБ-418К, НБ-420К имеет присадку серебра (0,06—0,11%), а двигателя НБ-412М — присадку кадмия или серебра. Присадки к меди коллектора резко повышают износоустойчивость коллекторов в эксплуатации. Для облегчения пластин коллектора в них иногда вырубают отверстия (двигатели НБ-412, НБ-418, НБ-420, AL4442nP).

Петушки чаще всего составляют одно целое с пластиной, но иногда (двигатели НБ-418К, НБ-420Б) их приваривают. Шлицы пластин лудят припоем ПОС-40, используя в качестве флюса спиртовой раствор канифоли.

Изоляцию между коллекторными пластинами изготовляют из твердого коллекторного миканита марки КФШ или КФА, содержащего не более 2—3% склеивающих веществ. При нажатии 300 кгс/см² не должно быть никакой усадки. При температуре 20° С и повышении нажатия до 600 кгс/см² усадка должна быть не более 7%. Для двигателей с кремнийорганической изоляцией применяют коллекторный миканит на амофосе КФА. Разница в толщине отдельных мест изоляционных пластин не должна быть более 0,05 мм.

Боковые грани пластин фрезеруют. Толщина межламельной изоляции приведена в табл. VII-4. Изоляционные манжеты выполняют из формовочного миканита ФФГА толщиной 2,4—3,6 мм (в зависимости от напряжения) в прессформах под высоким давлением.

Содержание клеящих веществ в изготовленной манжете не должно превышать 8—10%. Усадка при испытании давлением 350 кгс/см² и температуре 200° С не должна превышать 15%. В машинах с кремнийорганической изоляцией применяют формовочный миканит на лаке К-40.

Изоляционные цилиндры, помещаемые между кольцом коллекторных пластин и коробкой коллектора, имеют толщину 1,25—2,0 мм.

Корпус и зажимные конусы арочных коллекторов отливают из стали 25ЛI, 35ГТЛ или 20 ГТЛ. Кольцо коллекторных пластин и прокладки между ними запрессовывают через миканитовые манжеты между корпусом коллектора и зажимным конусом.

Нажатие при запрессовке составляет: для двигателя НБ-406 — 75—83 тс, для НБ-412М — 75—80 тс, для НБ—418К — 110 тс, для НБ-420А — 92 тс. Коллектор фиксируют 16 или 18 болтами из стали 40Х, диаметром 20, 18 или 16 мм. Головки болтов круглые со шлицами. Под головки болтов закладывают шайбы из красной меди, предохраняющие болты от отвертывания и уплотняющие места ввода болтов в коробку коллектора.

Коллекторные болты изготовляют достаточно длинными, чтобы они допускали удлинение коллекторных пластин при нагревании коллектора без появления остаточных деформаций. С этой же целью среднюю часть болта выполняют меньшего диаметра (двигатели НБ-406, НБ-420А).

В двигателе GB317/23а коллекторные пластины затягивают кольцевой гайкой, устанавливая между ней и передней нажимной шайбой эластичное кольцо, позволяющее коллекторным пластинам удлиняться.

Собранный коллектор подвергают статической и динамической формовкам, подтягивают зажимные болты и протачивают рабочую поверхность, производят продорожку коллектора и шлифуют его рабочую поверхность. Шлифовку выполняют в несколько приемов, окончательно — абразивными брусками КЗМ40М$_3$Б10. В завершение коллектор полируют колодками из бука.

Допустимое отклонение длины окружности рабочей поверхности коллектора, приходящейся на одно полюсное деление, не должно превышать 1 мм. Непараллельность пластин относительно оси коллектора не должна быть более 1 мм на полной длине пластины.

Коллекторная коробка в современных двигателях отечественного производства объединяется с передним обмоткодержателем якоря и напрессовывается на втулку (коробку) якоря.

Выступающую за торец коллекторных пластин часть миканитовой манжеты бандажируют стеклянной электроизоляционной лентой и покрывают красной дугостойкой эмалью ГФ-92-ХК.

Щеточный аппарат. У тяговых двигателей электровозов и электропоездов постоянного тока щеточный аппарат состоит из кронштейнов щеткодержателей, укрепляемых на остове двигателя, и установленных на них корпусов щеткодержателей со щетками (см. рис. VII-32, VII-39).

У электровозных двигателей пульсирующего тока шестиполюсного исполнения кронштейны щеткодержателей устанавливают на поворотной траверсе для подведения к смотровым люкам любого из шести щеткодержателей.

Траверсы щеткодержателей двигателей отечественного производства отливают из стали 25ЛI. Траверса представляет собой разрезное кольцо швеллерного сечения (см. рис. VII-25). В разрез вмонтировано устройство, состоящее из цилиндрических шарниров, стопорной гайки и стопора, позволяющее сжимать или разжимать кольцо. Это дает возможность проворачивать траверсу и закреплять ее в нужном положении.

После механической обработки траверсу покрывают не менее двух раз дугостойкой красной эмалью ГФ-92-ХК.

Корпуса щеткодержателей изготовляют из латуни ЛС-59-1 и ЛК-80-3 литьем под давлением в стальных формах на специальных литейных машинах. Прессование производят давлением 120 кгс/см². Щеткодержатели тяговых двигателей показаны на рис. VII-6, VII-26, VII-29, VII-37, VII-41. Допуски на размеры окна под щетки должны быть такими, чтобы зазор между щеткой и стенкой окна по ширине был в пределах 0,05—0,1 мм, а по длине — не более 0,3 мм.

Для правильного положения щеток на коллекторе расстояние между плоскостью вершин зубьев гребенки и осью окна для щеток должно выдерживаться с точностью ±0,05 мм. Окончательно обработанный корпус щеткодержателя, кроме контактных поверхностей, покрывают дугостойкой электроэмалью.

Щетки — графитированные, чаще всего марок ЭГ-2А и ЭГ-74. Для двигателей постоянного тока — цельные, а для двигателей пульсирующего тока с более трудными условиями коммутации — составные, обычно из двух частей (см. табл. VII-4).

Для разгрузки нажимных пружин от токов щетки обычно соединяют с корпусом щеткодержателя токоведущим проводом. В современных тяговых двигателях усилие нажимного устройства на щетку передается через резиновые накладки, демпфирующие колебания щеток.

Нажимные устройства в щеткодержателях выполняют или со спиральными пружинами из плоской ленты или с цилиндрическими винтовыми пружинами из круглой проволоки (см. рис. VII-26).

В винтовых пружинах возникают меньшие напряжения, чем в спиральных, поэтому они имеют более стабильную механическую характеристику. Кроме того, они просты в изготовлении и значительно удобнее в обслуживании, поэтому в тяговых двигателях последних выпусков (НБ-420А, НБ-418К, НБ-412М) пружины щеткодержателей винтовые цилиндрические из пружинной стали 60С2.

Кронштейны щеткодержателя отливают из стали 25ЛКI. Поверхность кронштейна, с которой стыкуется гребенчатая привалочная поверхность корпуса щеткодержателя, выполняется также гребенчатой.

В теле кронштейна имеются две цилиндрические выточки. В них впрессовывают пальцы, которыми кронштейн крепят к остову двигателя. Стенки цилиндрических выточек в стальных кронштейнах выкладывают лепестками слюды толщиной 0,5 мм вполуперекрышу, загибая их на дно. Кроме того, на дно закладывают шайбу из коллекторного миканита. Для защиты этой изоляции от повреждения в отверстия вводят стальные полугильзы, а затем, после подогрева до 150—160° С, впрессовывают усилием 3,5 — 5,0 тс стальные пальцы. В последних со стороны свободных торцов по кондуктору высверливают отверстия и нарезают их под болты, которыми кронштейн крепят к остову.

На часть пальца, выступающую из кронштейна, насаживают на глифталевом лаке миканитовую втулку, поверх миканитовой втулки ставят фарфоровый изолятор. Кронштейн, за исключением гребенки, окрашивают эмалью ГФ-92-ХК. Болты, крепящие кронштейны, изготовляют из стали 45 с последующей термообработкой.

Кронштейны тяговых двигателей электропоездов (ДК-103, ДК-106, РТ-51Д), устанавливаемые на остове двигателей, изготовляют из прессовочной массы АГ-4В в прессформах при температуре 105° С и давлении 200 тс, после чего их термически обрабатывают при температуре 160° С. Эти кронштейны проще по конструкции и надежнее в работе.

Корпус щеткодержателя крепят к стальному кронштейну. Стыкующиеся поверхности кронштейна и щеткодержателя рифленые. Крепление корпуса щеткодержателя к кронштейну производят, затягивая гайку на шпильке, ввернутой в тело кронштейна. Под гайку помещают пружинную шайбу. Отверстие под шпильку в стенке корпуса щеткодержателя—овальное, позволяющее устанавливать щеткодержатель на нужном расстоянии от рабочей поверхности коллектора.

VII-4. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Э. П. С.

Основные технические данные тяговых двигателей электровозов и электропоездов приведены в табл. VII-2 — VII-4, а некоторые технико-экономические и расчетные показатели — в табл. VII-5.

VII-5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Э. П. С. ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ И ИХ МОДИФИКАЦИЙ

Тяговые двигатели НБ-406А и НБ-406Б. Электрическая часть этих машин одинаковая, за исключением якорных подшипников. У двигателя НБ-406А на стороне коллектора роликовый подшипник фиксирующий серии 92428ЖК, а на противоположной стороне — свободный серии 32428ЖК. У двигателя НБ-406Б на обеих сторонах якоря установлены подшипники серии 42428К1 с одним упорным бортиком на внутреннем кольце с внутренней стороны якоря. Разница эта связана с тем, что у двигателя НБ-406А зубчатая передача прямозубая упругая, а у НБ-406Б — жесткая косозубая.

Тяговый двигатель НБ-418К и его модификации. Двигатель этого типа претерпел ряд конструктивных изменений и получил обозначения НБ-418К, НБ-418К1, НБ-418К2, НБ-418К3, НБ-418К4 и НБ-418К6. Различаются эти модификации лишь конструкцией некоторых элементов, расчетные же параметры, главные размеры и электромеханические характеристики; отнесенные к валу этих машин, одни и те же.

Отличия отдельных модификаций тягового двигателя НБ-418К следующие:

у двигателя НБ-418К3 величина централи равна 594 мм вместо 604 мм у НБ-418К в связи с тем, что передаточное число зубчатых колес 4,09 (вместо 4,19);

у двигателя НБ-418К2 поставлен усиленный якорный подшипник 8Н42330Л1М вместо 8Н42328ЛУ у НБ-418К;

у двигателя НБ-418К видоизменена выводная коробка проводов;

у двигателя НБ-418К1 выход охлаждающего воздуха происходит не в аксиальном направлении, а под кузов;

у двигателя НБ-418К6 улучшено уплотнение якорного подшипника для исключения попадания в него пыли от щеток.

Установлены эти тяговые двигатели на электровозах ВЛ80^к: на № 064—065 — НБ-418К3; № 066-072—НБ-418К; № 073 — 0,93—НБ-418К2; № 094-160 — НБ-418К4; № 161—280 — НБ-418К1 и с № 280 на всех последующих — НБ-418К6.

Тяговые двигатели НБ-412М и НБ-412К. Основное отличие двигателя НБ-412К от НБ-412М заключается в наличии компенсационной обмотки. Двигатель НБ-412К— первый компенсированный электровозный тяговый двигатель. Он создавался на базе двигателя НБ-412М. При этом выдерживался принцип максимального сохранения элементов конструкции машин, модернизация коснулась только главных и добавочных полюсов и была добавлена компенсационная обмотка.

Следует отметить оригинальность конструктивного выполнения компенсационной обмотки: стержни ее располагаются не в радиальных пазах, как это делается обычно, а параллельно оси добавочных полю-

Таблица VII-2

Основные технические данные тяговых двигателей электровозов

Показатели	Тяговые двигатели электровозов постоянного тока					Тяговые двигатели электровозов переменного тока									
	ДПЭ-400А	НБ-406А НБ-406Б	ТЛ-2К	AL4846 zT	AL4846 eT	НБ-412М	НБ-412К	НБ-413	НБ-414Б	НБ-418К	НБ-420А	НБ-420Б	AL4442пР	ТАО-649AI ТАО-649BI	GB 317/23a
Серия электровоза	ВЛ22м, ВЛ19	ВЛ8, ВЛ23	ВЛ10	ЧС1	ЧС2, ЧС3	ВЛ60	ВЛ60, ВЛ60п, ВЛ60р, ВЛ60к	ВЛ80в, ВЛ80к	ВЛ80, ВЛ80к	ВЛ80к	ВЛ80	ВЛ82	ЧС4	Фп/Ф и Фр	К
Год начала выпуска	1948	1953	1967	1957	1960	1958	1962	1961	1962	1965	1962	1963	1965	1959—1960	1960
Напряжение, В:															
контактной сети $U_с$	3000	3000	3000	3000	3000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000 и 3000	25 000	25 000	25 000
на зажимах двигателя $U_д$	1500	1500	1500	1500	1500	1450	1600	900	950	950	1500	1500	800	750	1100
Коэффициент возбуждения, %:															
номинальный	100	100	100	100	100	86	95	88	93	96	96	96	95,5	95	96
минимальный	50	36	36	35	40	46	46	51	49	35	35	32	40	51,5	35
Масса двигателя (без зубчатой передачи) G, кг	4300	5400	4760	5200	5250	5000	4850	4300	4000	4350	4500	4500	2950	3350/3370	3750
Часовой режим															
Мощность на валу $P_ч$, кВт	400	525	650	586	700	690	775	775	810	790	700	700	900	790	825
Ток, $I_ч$, А	290	380	466	415	500	515	515	925	900	880	495	500	1210	1135	785
Частота вращения $n_ч$, об/мин	710	735	770	600	680	755	850	920	1030	890	885	905	1150	890	845
К. п. д. на валу $\eta_ч$, %	92,0	92,1	92,7	—	94,3	92,4	93,4	93,2	94,7	94,36	94,3	—	—	92,8	95,4
Продолжительный режим															
Мощность на валу P_∞, кВт	310	470	—	508	610	550	—	695	740	—	—	635	860	760	725
Ток I_∞, А	225	340	—	360	435	410	—	820	830	—	—	450	1166	1080	685
Частота вращения n_∞, об/мин	770	765	—	630	720	825	—	970	1100	—	—	935	1165	810	870
К. п. д. на валу η_∞, %	92,0	92,1	—	—	94,8	92,4	—	—	94,1	—	—	—	—	93,8	94,65
Максимальная частота вращения n_{max}, об/мин	1580	1790	1675	1200	1185	1680	1680	2050	2250	1960	2000	2030	1860	1070	1810
Количество охлаждающего воздуха[1] Q, м³/мин	78	95	110	120	120	104	110	110	115	110	115	115	96	105	102
Напор H, мм вод. ст.	—	68	76,5	100	—	75	84	114	178	150	165	143	120	152	150
Передаточное число[2] $\mu = \frac{Z}{z}$	—	3,905	—	2,27	1,75	3,826 2,73	3,826	4,4	4,63	4,19	4,1	4,1	2,64	2,76 4,437	4,111
Модуль m	10	11	—	—	12	11	11	11	11	11	11	11	—	12,7	12,85

[1] Вентиляция независимая. [2] Здесь Z — число зубьев колеса, z — число зубьев шестерни.

Таблица VII-3

Основные технические данные тяговых двигателей электропоездов

Показатели	Тяговые двигатели типов					
	ДК-103	ДК-106Б	УРТ-110А	РТ-113	РТ-117*3	РТ-51Д
Серия электропоезда	СР	ЭР1	ЭР2	ЭР22	ЭР22	ЭР9, ЭР9П
Год начала выпуска	1946	—	1958	—	1969	1962
Напряжение, В:						
на контактной сети	3000	3300	3300	3000	3000	25 000
на зажимах двигателя	1500	1500	1500	750	750	825
Коэффициент возбуждения, %:						
номинальная	53*	50*	50*	50*	50	53,5*2
минимальная	53*	50	50	29	23	32
Часовой режим						
Мощность на валу, кВт	180*	200*	200*	220*	230	160*2
Ток, А	132*	146*	146*	326*	344	215*2
Частота вращения, об/мин	1100*	1140*	1145*	1175*	800	960*2
К. п. д. на валу, %	94,1*	90,0*	—	—	91,0	—
Продолжительный режим						
Мощность на валу, кВт	129*	160*	—	—	260	125*2
Ток, А	105*	115*	—	—	—	165*2
Частота вращения, об/мин	1215*	—	—	—	—	1080*2
К. п. д. на валу, %	91,0*	92,0*	—	—	—	—
Наибольшая частота вращения, об/мин	2100	2080	2080	2240	2240	2080
Количество охлаждающего воздуха*4, м³/мин	—	—	—	—	24,2	—
Напор, мм вод. ст.	—	—	—	—	—	—
Передаточное число	$3,69=\frac{70}{19}$	$3,17=\frac{73}{23}$	$3,17=\frac{73}{23}$	$3,41=\frac{75}{22}$	$3,41=\frac{75}{22}$	$3,17=\frac{70}{23}$
Модуль	10	10	10	10	10	10
Масса двигателя (без зубчатой передачи), кг	2550	2200	2150	2200	2200	2000

* Для двигателей ДК-103Г, ДК-106Б, УРТ-110А данные часового и продолжительного режимов относятся к режиму работы с ослабленным полем, который считается нормальным. Полное поле 100% считается для этих машин усиленным.

*2 Для двигателя РТ-51Д данные часового и продолжительного режимов относятся к режиму с ослабленным полем 53,5%. Наиболее глубокое ослабление поля у этого двигателя — 32%, а полное (усиленное) поле — 92,5%.

*3 Данные по двигателю РТ-117 относятся к номинальному режиму работы со степенью возбуждения $\beta=0,5$.

*4 Двигатели с самовентиляцией.

Таблица VII-4

Основные конструктивные данные тяговых двигателей электровозов и электропоездов

Показатели	Тяговые двигатели электровозов постоянного тока				Тяговые двигатели электровозов переменного тока					
	ДПЭ-400А	НБ-406А, НБ-406Б	ТЛ-2К	AL 4846zT	AL 4846eT	НБ-412М	НБ-412К	НБ-413	НБ-414Б	НБ-418К	НБ-420А
Сердечник якоря											
Диаметр внешний D_a, мм	635	660	740	900	900	740	740	740	590	660	660
» внутренний D_i, мм	180	—	—	500	500	400	400	—	185	315	200
Длина l_a, мм	305	400	430	360	360	440	410	385	420	385	375
Количество пазов Z	57	58	75	87	87	75	75	111	87	87	58
Размеры паза $h_п \times b_п$, мм	57,9×14,55	51×13,76	47,5×12,7	41,5×11,8	41,5×11,8	43,5×12	43,5×12	3,9×10	46,8×9	42,2×10	51,1×13,8
Вентиляционные каналы:											
количество рядов каналов	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	3
» каналов в ряду	18	20	30	24	24	30	30	30	40	22	22
диаметр канала $d_к$, мм	29	26,5	30	—	—	25	25	26	30	30	26,5
Обмотка якоря											
Тип	Волновая		Петлевая								
Количество проводников общее N	570	812	1050	1218	1044	1050	1050	666	696	696	696
» проводников в пазу N_z	10	14	14	14	12	14	14	6	8	8	12
» витков в секции w_c	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
» параллельных ветвей $2a$	2	4	6	6	6	6	6	6	6	6	4
Размеры проводника $b_м \times h_м$, мм	(0,8×21,6) 2	(1,08×8,6) 2	(0,9×8) 2	0,8×13,5	1×13,5	(1×7,4) 2	(1×7,4) 2	3,05×6,9	5,9×4,1	3,53×6,9	2,63×9,3
Сечение проводника q_a, мм²	34,6	18,16	14,4	10,8	13,3	14,38	14,38	20,6	23,3	23,8	24
Шаг по пазам	1—16	1—15	1—12	1—15	1—15	1—13	1—13	1—19	1—15	1—15	1—15
» по коллектору	1—143	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2
Сопротивление обмотки r_a, Ом	0,0645 / 0,088	0,0473 / 0,0645	0,0317 / 0,0432	0,056 / 0,068	0,0362 / 0,044	0,031 / 0,0422	0,031 / 0,0422	0,0135 / 0,0183	0,0116 / 0,0158	0,011 / 0,015	0,0303 / 0,0412
Температура, при которой измерено сопротивление, °С	20/110	20/110	20/110	20/75	20/75	20/110	20/110	20/110	20/110	20/110	20/110
Класс изоляции	В	В	В	В	В	В	В	Н	В	В	В
Масса меди G_a, кг	—	—	124	112	—	133	133	122	127	126	152
Уравнительные соединения											
Количество уравнителей на паз	—	1	1	—	2	1	1	1	2	2	6
Размеры провода $b_{ур} \times h_{ур}$, мм	—	1,08×4,4	0,83×3,53	1×6	1×5	1×2,83	1×2,83	2,63×2,63	1,25×59	1,68×4,7	1,0×7,4

Продолжение табл. VII-4

Показатели	Тяговые двигатели электровозов постоянного тока					Тяговые двигатели электровозов переменного тока					
	ДПЭ-400А	НБ-406А, НБ-406Б	ТЛ-2К	AL 4846zT	AL 4846eT	НБ-412М	НБ-412К	НБ-413	НБ-414Б	НБ-418К	НБ-420А
Шаг по коллектору $Y_{ур}$	—	1—204	1—175	1—204	1—175	1—176	1—176	1—112	1—117	1—117	1—175
Масса меди $G_{ур}$, кг	—	—	1,4	—	—	1,4	1,4	3,5	7	9	11
Класс изоляции	—	В	В	—	В	В	В	Н	В	В	В
Коллектор											
Диаметр D, мм	565	565	660	830	830	660	660	565	480	520	480
Длина рабочей части $l_к$, мм	110	113	102	124	126	117	117	146	115	121	400
Количество коллекторных пластин K	285	406	525	609	522	525	525	333	348	348	348
Коллекторное деление $t_к$, мм	6,23	4,375	3,95	4,29	5,0	3,95	3,95	5,33	4,33	4,7	4,33
Толщина изоляции между коллекторными пластинами $\Delta_{из}$, мм	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,17	1,2	1,1
Щетки											
Количество щеткодержателей	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	4
» щеток в одном щеткодержателе	2	2	2	3	3	2	2	2	2	3	2
Размеры щеток $b_щ \times l_щ$, мм	16×50	20×50	(8×50) 2	14×38	16×38	(8×50) 2	(8×50)2	(2,5×50) 2	(10+12+10)×40	(12,5×32) 2	(12,5×40) 2
Марка щеток	ЭГ-2А	ЭГ-2А	ЭГ-74А	—	EG6749N или ЭГ-74	ЭГ-2А	ЭГ-2А	ЭГ-74	ЭГ-74	ЭГ-74А	ЭГ-74А
Катушки главных полюсов											
Число полюсов $2p$	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	4
» витков $w_{гп}$	67	48	19	28	24	34	20	16	14	11	25
Размер провода $b_{гп} \times h_{гп}$, мм	2,63×35	4,1×32	1,95×65	4,8×28	5×28	1,95×65	1,95×65	3,53×55	4×55	4×65	1,95×65
Сечение провода $q_{гп}$, мм²	92,0	130,3	125,9	134,0	140,0	125,9	125,9	191,5	219,5	259,5	125,9
Масса меди (на машину), кг	—	—	—	—	—	—	180	210	200	225	168
Класс изоляции	В	В	Н	—	—	Н	Н	Н	—	Н	—
Сопротивление обмоток $r_{гп}$, Ом	0,0744 / 0,101	0,0442 / 0,06	0,0268 / 0,0366	0,032 / —	0,0139 / 0,0168	0,041 / 0,056	0,0238* / 0,0323	0,0100* / 0,0135	0,0102* / 0,0138	0,0076* / 0,0103	0,0274* / 0,0372
Температура, при которой измерено сопротивление, °С	0/100	20/110	20/110	20/—	20/75	20/110	20/110	20/110	20/110	20/110	20/110
Катушки добавочных полюсов											
Число полюсов	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	4
» витков $w_{дп}$	55	34	10	22	19	21	10	12	11	8	15
Размеры провода $b_{дп} \times h_{дп}$, мм	3,05×35	4,4×28	6×20	3,2×40	3,2×40	4,1×32	4,1×32	5,5×45	7×28	12,5×12,5	6,5×18
Сечение провода $q_{дп}$, мм²	104,5	123,2	119,1	128,0	128,0	130,5	130,5	246,6	195,1	155,4	116,1
Масса меди (на машину), кг	—	—	—	—	—	—	80	180	122	66	56
Класс изоляции	В	В	Н	—	—	Н	В	Н	—	Н	F
Сопротивление обмотки $r_{дп}$, Ом	0,0374 / 0,051	0,0237 / 0,0322	0,0102 / 0,0139	0,016 / —	0,0269 / 0,0327	0,021 / 0,0287	0,032 / 0,0436	0,0605 / 0,0082	0,0073 / 0,0098	0,0119*2 / 0,0162	0,0346*2 / 0,047
Температура, при которой измерено сопротивление, °С	20/110	20/110	20/110	20/—	20/75	20/110	20/110	20/110	20/110	20/110	20/110
Компенсационная обмотка											
Число витков на полюс $w_{ко}$	—	—	10	—	—	—	10	—	—	6	15
Размеры провода $b_{ко} \times h_{ко}$, мм	—	—	3,28×22	—	—	—	3,8×22	—	—	1,4×35	2,63×28
Сечение провода $q_{ко}$, мм²	—	—	71,7	—	—	—	83,1	—	—	153,1	72,2
Масса меди (на машину), кг	—	—	—	—	—	—	75	—	—	80	58
Общее сопротивление обмоток двигателя $r_д$, Ом:											
при температуре 20° С	0,1763	0,1152	0,0050	0,104	0,077	0,093	0,0868*3	0,02955*3	0,0291*3	0,0305*3	0,0923*3
» » 110° С	0,240	0,1567	0,1295	—	—	0,1268	0,1181	0,040	0,0393	0,0415	0,12515
Воздушные зазоры											
Зазор под главными полюсами $\delta_ц$ ($\delta_{кр}$), мм	6 (12)	7,7 (15,4)	4,5(4,5)	8	8	—	4,5(4,5)	7,58*4	8*4	4,7(4,7)	5,15 (5,15)
То же под добавочными полюсами:											
со стороны якоря $\delta_д$, мм	6	8	7	13	13	—	7	9	9	10	10
» » остова $\delta_{дj}$, мм	10,5	6	6	—	—	—	8	5,5	—	7,0	11
Общие размеры											
Диаметр движущего колеса $D_{дк}$, мм	1200	1200	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Диаметр оси колесной пары d_0, мм	—	—	—	—	—	205	205	205	205	205	205,45
Высота остова H_0, мм	1054	1003	1105	—	1300	1105	1105	1050	950	1050	1090
Зазоры от головки рельса до нижней точки:											
кожуха зубчатой передачи b, мм	133	155	—	135	135	120	120	120	120	130	125
остова двигателя c, мм	156	—	—	—	165	—	—	—	—	—	—
Централь $Ц$, мм	545	566,5	—	—	726	617,5	617,5	600,9	594	604	594

Продолжение табл VII-4

Показатели	Тяговые двигатели электровозов переменного тока				Тяговые двигатели электропоездов						
	НБ-420Б	AL 4442пР	ТАО-649А1, ТАО-649В1	GB317/23a	ДК-103Г	ДК-106А	ДК-106Б	УРТ-110А	РТ-113	РТ-51Д	РТ-117
Сердечник якоря											
Диаметр внешний D_a, мм	660	710	620	620	440	520	520	520	510	520	520
» внутренний D_i, мм	200	400	175	330	—	135	135	135	135	135	—
Длина l_a, мм	375	280	390	380	380	300	300	300	315	230	330
Количество пазов Z	58	87	87	99	43	47	47	47	41	47	46
Размеры паза $h_п \times b_п$, мм	51,1×13,8	34,3×10,55	43,7×7,4	46,5×7,6	41×12,8	52×13,6	43×13,5	43×13,6	55,8×15,5	43×13,8	45,7×13,3
Вентиляционные каналы:											
количество рядов каналов	3	2	3	—	2	3	3	3	2	3	—
» каналов в ряду	22	—	—	—	16	16	16	16	12	16	—
диаметр канала $d_к$, мм	26,5	—	—	—	—	22	22	22	30/25	22	—
Обмотка якоря											
Тип	Волновая										Петлевая
Количество проводников общее N	696	—	522	792	602	470	658	658	410	470	644
» проводников в пазу N_z	12	—	6	8	14	10	14	14	10	10	14
» витков в секции w_c	1	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1
» параллельных ветвей 2a	4	6	6	6	2	2	2	2	2	2	4
Размеры проводника $b_м \times h_м$, мм	2,63×9,3	(2,5×6) 2	(1,6×5,6) 3	5,2×4,3	0,9×12,5	1,56×8,6	1,08×13,5	1×13,5	(1,81×9,3)2	1,81×14,5	(1,0×7,4) 2
Сечение проводника q_a, мм²	24	30	26,5	22,4	11,3	13,2	14,3	13,3	16,6×2	26,!	14,38
Шаг по пазам	1—15	1—15	1—15	1—17	1—11	1—12	1—12	1—12	1—11	1—12	1—12
» по коллектору	1,2	1—2	1—2	1—2	1—151	1—118	1—165	1—165	1—103	1—118	1—2
Сопротивление обмотки r_a, Ом	0,0303 / 0,0412	—	0,077 / 0,100	— / 0,0183	0,208 / 0,283	0,064 / 0,087	0,165 / 0,225	0,164 / 0,223	0,0409 / 0,0555	0,056 / 0,0762	0,0379 / —
Температура, при которой измерено сопротивление, °C	20/110	—	20/99	—	20/110	20/110	20/110	20/110	20/110	20/110	20/—
Класс изоляции	B	—	H	B	B	F	B	B	F	B	—
Масса меди G_a, кг	152	—	—	—	—	—	—	70	93	74,5	64,6
Уравнительные соединения											
Количество уравнителей на паз	6	—	—	1	—	—	—	—	—	—	1
Размеры провода $b_{ур} \times h_{ур}$, мм	1,0×7,4	2,5×4,1	1,6×5,6	—	—	—	—	—	—	—	0,83×3,53
Шаг по коллектору $Y_{ур}$	1—175	1—88	1—88	1—133	—	—	—	—	—	—	—
Масса меди $G_{ур}$, кг	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Класс изоляции	B	—	H	B	B	B	B	B	B	B	—
Коллектор											
Диаметр D, мм	500	570	462	540	380	438	460	460	420	460	440
Длина рабочей части $l_к$, мм	100	142	163	165	70	79	79	79	100	88	100
Количество коллекторных пластин K	348	261	261	396	301	235	329	329	205	235	322
Коллекторное деление $t_к$, мм	4,51	6,86	5,55	4,28	3,97	5,85	4,4	4,4	6,42	6,14	4,3
Толщина изоляции между коллекторными пластинами $\Delta_{из}$, мм	1,2	1,0	1,5	0,8	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	—
Щетки											
Количество щеткодержателей	4	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4
» щеток в одном щеткодержателе	2	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2
Размеры щеток $b_щ \times l_щ$, мм	(12,5×40) 2	32×25	(8×36) 2	20×40	12,5×32	(10×2)×32	16×32	16×32	(10,0×2)40	(12,5×2) 32	20×40
Марка щеток	ЭГ-51	—	EG97B	—	ЭГ-2А	ЭГ-2А	ЭГ-2А	ЭГ-2А	—	ЭГ-2А	ЭГ-2А
Катушки главных полюсов											
Число полюсов 2p	4	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4
» витков $w_{гп}$	24	10	9	11	87	63	78	76	55	68	58
Размер провода $b_{гп} \times h_{гп}$, мм	19,5×65	5×45	5×35,5	3,6×55	1,0×35	2,26×22	1,81×22	1,68×22	2,1×26,3	1,95×22	2,26×25
Сечение провода $q_{гп}$, мм²	125,9	225	177,5	195	34,8	48,6	39,1	36,4	54,3	42,1	55,4
Масса меди (на машину), кг	181	—	—	—	—	—	—	134	137	125	153
Класс изоляции	F	H	H	B	B	H	B	B	H	B	—
Сопротивление обмоток $r_{гп}$, Ом	0,0266* / 0,036	—	0,070 / 0,0091	— / 0,0100	0,233 / 0,316	0,118 / 0,164	0,183 / 0,248	0,182 / 0,248	0,09 / 0,122	0,128 / 0,174	0,0965 / —
Температура, при которой измерено сопротивление, °C	20/110	—	20/95	—	20/110	20/100	20/110	20/110	20/110	20/110	20/—
Катушки добавочных полюсов											
Число полюсов	4	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4
» витков $w_{дп}$	15	9	10	6	56	39	57	57	33	37	25
Размеры провода $b_{дп} \times h_{дп}$, мм	6,5×18	7,0×32	5,6×35,5	14×14	1,68×22	2,83×25	1,81×22	1,81×25	3,53×32	3,05×26,3	4,4×26,3
Сечение провода $q_{дп}$, мм²	116,1	224	198,8	194	36,6	69,3	39,1	44,6	110,3	79,7	114,3
Масса меди (на машину), кг	56	—	—	—	—	—	—	73	117	67	84
Класс изоляции	—	H	H	B	B	H	B	B	H	B	—

Продолжение табл. VII-4

Показатели	Тяговые двигатели электровозов переменного тока			Тяговые двигатели электропоездов							
	НБ-420Б	АЛ4422пР	ТАО-649А1, ТАО-649В1	GB317/23a	ДК-103Г	ДК-106А	ДК-106Б	УРТ-110А	РТ-113	РТ-51Д	РТ-117
Сопротивление обмотки $r_{дп}$, Ом	0,0346*2	—	0,00570 / 0,0074	— / 0,0037	0,102 / 0,139	0,032 / 0,043	0,082 / 0,0112	0,0695 / 0,095	0,01855 / 0,0253	0,0250 / 0,034	0,0127 / —
Температура, при которой измерено сопротивление, °С	20/110	—	20/95	—	20,110	20/100	20/100	20/110	20/110	20/110	—
Компенсационная обмотка											
Число витков на полюс $w_{ко}$	15	—	—	7	-	-	-	-	-	-	—
Размеры провода $b_{ко} \times h_{ко}$, мм	2,63×28	—	—	7,5×9,5	-	-	-	—	—	—	—
Сечение провода $q_{ко}$, мм²	72,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Масса меди (на машину), кг	56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Общее сопротивление обмоток двигателя $r_д$, Ом:			0,0204	—	0,543	0,214	0,430	0,4155	0,1495	0,209	0,1471
при температуре 20 °С	—	—	—	—	0,738	0,292	0,560	0,566	0,2033	0,2842	—
» » 110° С	—	—	—	—							
Воздушные зазоры											
Зазор под главными полюсами $\delta_д$ ($\delta_{кр}$), мм	5	5,15(5,15)	4,5(9)	4,7	5	4,75(12)	4,75 (12)	—	7	12 (4,75)	—
То же, под добавочными полюсами:											
со стороны якоря $\delta_д$, мм	8	10	7	6,0	5	6	6	6	6,5	6	6,5
» » остова $\delta_д$, мм	2	11,5	4	4,0	8	—	4	4,5	2,5	3,5	2,5
Общие размеры											
Диаметр движущего колеса $D_{дк}$, мм	—	1250	1220	1250	1050	1050	1050	1050	1050	1050	—
Диаметр оси колесной пары d_0, мм	—	205	—	—	180	180	180	180	180	180	—
Высота остова H_0, мм	—	1100	915	990	765	800	800	—	—	-	-
Зазоры от головки рельса до нижней точки:											
кожуха зубчатой передачи b, мм	—	120	150	130	150	—	-	-	-	—	—
остова двигателя c, мм	—	—	—	—	160	—	—	—	-	—	—
Централь $Ц$, мм	—	604	596,9 / 552,45	598	445	485	485	485	490	485	—

* Сопротивление цепи катушек главных полюсов дано с учетом сопротивления постоянно включенного шунтирующего резистора.
*2 Сопротивление обмоток добавочных полюсов дано вместе с сопротивлением компенсационной обмотки.
*3 Общее сопротивление обмоток двигателя включает в себя сопротивление постоянно включенного шунтирующего резистора при температуре 110° С.
*4 Эффективный воздушный зазор.

сов. Это позволяет изготовлять катушку компенсационной обмотки отдельно, а затем закладывать ее в пазы полюсов.

Сердечники добавочного полюса у двигателей НБ-412М и НБ-412К одинаковы, но так как у компенсированного двигателя число витков обмотки этого полюса меньше и катушка имеет меньшую высоту — остальное место по высоте сердечника заполнено бакелитовой накладкой.

Главные полюсы этих машин разнятся полюсными наконечниками: у НБ-412К он имеет бо́льшие размеры в связи с наличием в нем пазов для размещения компенсационной обмотки.

Тяговые двигатели НБ-420А и НБ-420Б. Якорные подшипники с короткими цилиндрическими роликами средней серии 8Н42328, установленные на двигателях НБ-420А, в двигателях НБ-420Б заменены на более широкие серии 8Н42330Л1М.

У двигателя НБ-420А коллектор выполнен со стальными зажимными конусами с диаметром $D_к = 480$ мм, коллекторным делением $t_к = 4{,}33$ мм и толщиной изоляции между коллекторными пластинами $\Delta_{из} = 1{,}1$ мм, а у двигателя НБ-420Б — на пластмассе с $D_к = 500$ мм, $t_к = 4{,}51$ мм и $\Delta_{из} = 1{,}2$ мм.

Тяговые двигатели ТАО-649А1 и ТАО-649В1. Различаются двигатели этих типов системой их подвешивания. Двигатель ТАО-649В1 выполнен с опорно-осевым подвешиванием. Одной стороной через моторно-осевые подшипники он опирается на ось колесной пары, другой — связан с поперечной балкой тележки подвеской, качающейся в плоскости, перпендикулярной ее оси. Это позволяет двигателю перемещаться вместе с осью колесной пары относительно рамы тележки в горизонтальном направлении. Нижняя часть подвески через резиновые шайбы связана с кронштейном, укрепленным на двигателе. За счет деформации этих шайб двигатель имеет возможность перемещаться относительно рамы тележки в вертикальном направлении, поворачиваясь вокруг оси колесной пары.

Двигатель ТАО-649А1 опирается на раму тележки с помощью кронштейна с одной стороны и двух приливов с другой. Кронштейн крепится к остову восемью болтами. Между опорным концом кронштейна и поперечной балкой тележки поставлены резиновые амортизаторы. Такие же амортизаторы имеются между приливами и нижними кронштейнами рамы тележки, на которые опирается двигатель. Для возможности перемещения в вертикальном направлении относительно оси колесной пары двигатель выполнен с полым валом. Наличие зазора между внутренней полостью этого вала и осью колесной пары потребовало увеличения централи. Величины централей приведены в табл. VII-4, а передаточного числа зубчатых колес — в табл. VII-3.

Разница в передаточном числе зубчатых колес приводит к тому, что электромеханические характеристики двигателей, отнесенные к оси колесной пары, различны.

В отличие от современных электровозных двигателей, выпускаемых отечественными заводами, эти двигатели имеют одностороннюю зубчатую передачу и выполнены некомпенсированными.

Охлаждающий воздух подается через люк в верхней части остова на стороне коллектора. Вывод воздуха в зимнее время происходит через такой же верхний люк на противоположной стороне, а в летнее время — через одиннадцать окон в заднем подшипниковом щите, закрытых сетками, непосредственно в атмосферу. На зиму эти окна закрывают заслонкой.

Своеобразен в этих двигателях узел моторно-осевых подшипников и система их смазки. Шапка моторно-осевых подшипников общая. В средней ее части находится масляная камера с шестеренчатым масляным насосом, который приводится в движение зубчатым венцом, сидящим на оси (у двигателя ТАО-649В1) или полом валу (у двигателя ТАО-649А1). Насос укреплен на специальном кронштейне. Масло от насоса поступает в камеры подшипников и возвращается в общую масляную камеру. Смазка к осевым вкладышам подводится через польстер (подушку) и фитили. Польстер прижимается к оси пружиной.

Вкладыши моторно-осевых подшипников стальные с баббитовой заливкой.

Тяговый двигатель GB317/23a. Подшипниковый щит двигателя со стороны коллектора в верхней части является вентиляционным патрубком. На внутреннюю сторону его посадочного бурта устанавливают траверсу щеткодержателей. С внутренней стороны щита на болтах укрепляют специальную воронку для направления вентилирующего воздуха.

Сердечник главного полюса крепят к остову болтами, ввертываемыми непосредственно в шихтованный пакет. Пазы в наконечнике полюса для размещения компенсационной обмотки полузакрытые и расположены радиально. Сердечники добавочных полюсов выполнены из цельной поковки.

Втулка вала представляет собой отливку с восемью ребрами толщиной 16 мм, на которые на шпонке устанавливают шихтованный сердечник якоря. В сердечнике нет ни радиальных, ни осевых вентиляционных каналов. Пакет обдувается охлаждающим воздухом по поверхности внутреннего отверстия и по торцовым поверхностям, выходит воздух около зубцов. Пазы якоря имеют в осевом направлении скос на одно зубцовое деление.

Уравнительные соединения расположены на стороне, противоположной коллектору, и смонтированы на специальном съемном фланце. Уравнители с головками секций соединяют медными перемычками. Спрессованные коллекторные пластины фиксируют не болтами, а специальной гайкой из хромоникелемолибденовой стали, имеющей резьбу М360× 3. Гайка ввертывается во внутреннюю полость корпуса коллектора; по внутреннему ее диаметру имеются шлицы для ключа. Гайка затягивает корпус коллектора через специальное упругое

Таблица VII-5

Некоторые расчетные данные и экономические показатели тяговых двигателей электровозов и электропоездов

Показатели	Тяговые двигатели электровозов постоянного тока					Тяговые двигатели электровозов переменного тока							Тяговые двигатели электропоездов				
	ДПЭ-400А	НБ-406А, НБ-406Б	ТЛ-2К	AL4846zT	AL4846eT	НБ-412М	НБ-412К	НБ-418К	НБ-420Б	AL4422nP	TAO-649A1, TAO-649B1	GB 317/23a	ДК-103	ДК-106Б	УРТ-110А	РТ-113	РТ-117*
Вращающий момент часового режима $M_ч$, кгс · м	548	696	820	950	1000	890	888	865	750	760	864	950	160	170	170	183	350
Масса двигателя на 1 кВт мощности часового режима $q_0 = \frac{G}{P_ч}$, кг/кВт	10,75	10,25	7,35	8,85	7,5	7,25	6,25	5,5	6,42	3,28	4,24/ 4,14	4,54	14,2	11,0	10,75	10,0	9,55
Производная масса двигателя $\varepsilon = \frac{G}{M_ч^{3/4}}$, кг$^{1/4}$/м$^{3/4}$	37,8	39,5	30,6	30,5	29,5	30,6	29,7	27,2	31,1	—	20,9/ 20,4	19,75	45,0	46,8	45,6	44,0	48,4
Отношение наибольшей частоты вращения к номинальной (коэффициент k_v)	2,22	2,11	2,11	2,0	1,75	2,22	1,91	2,10	2,15	1,62	2,21	2,14	1,91	1,82	1,82	1,9	2,8
Коэффициент Балдвина $\frac{P_ч n_{max}}{G n_ч}$	0,207	0,205	0,288	0,226	0,233	0,306	0,305	0,382	0,334	—	0,52/ 0,535	0,47	0,135	0,166	0,17	0,186	0,293
Коэффициент насыщения при часовом режиме $k_н$	—	—	1,84	—	—	—	1,83	1,72	1,99	—	—	—	—	—	—	—	—
Коэффициент устойчивости $k_{ун}$	—	—	1,325	—	—	—	1,53	1,42	1,197	—	—	—	—	—	—	—	—
То же при коэффициенте возбуждения $\beta_н$	—	—	1,0	—	—	—	0,95	0,96	0,96	—	—	—	—	—	—	—	—
Коэффициент устойчивости k_{ymin}	—	—	—	—	—	—	0,74	0,546	0,395	—	—	—	—	—	—	—	—
То же при наименьшем коэффициенте возбуждения β_{min}	—	—	0,36	—	—	—	0,46	0,35	0,32	—	—	—	—	—	—	—	—
Коэффициент использования мощности $k_и$	—	—	0,715	—	—	—	0,54	0,755	0,711	—	—	—	—	—	—	—	—
То же при скорости v_{max}, км/ч	—	—	100	—	—	—	100	110	110	—	—	—	—	—	—	—	—
Масса меди обмоток двигателя на единицу мощности $g_м = \frac{G_м}{P_ч}$, кг/кВт	—	—	0,69	—	—	—	0,605	0,64	0,66	—	—	—	—	—	—	—	—
Частота вращения часового режима $f_ч = \frac{p n_ч}{60}$	23,6	24,5	38,5	30	34	37,7	42,5	44,5	30,17	57,5	44,5	42,3	36,7	38,0	38,0	39,0	26,6
Окружная скорость якоря:																	
часового режима $v_{aч}$, м/с	23,7	25,4	29,8	28,3	32	29,3	33,0	30,7	31,3	42,8	28,9	27,4	25,3	31,0	31,2	31,5	21,75
наибольшая v_{amax}, м/с	52,5	53,5	64,5	56,6	55,7	65,0	65,0	64,5	67,5	69,4	64	58,5	48,5	56,5	56,5	60,0	60,8
Окружная скорость коллектора:																	
часового режима $v_{к.ч}$, м/с	21,0	21,7	26,6	26,1	29,5	26,1	29,4	24,2	23,7	34,2	21,5	24,0	21,9	27,4	27,7	26,0	18,4
максимальная $v_{к\,макс}$, м/с	46,5	45,7	55,5	52,2	51,5	58,0	58,0	50,8	51,0	55,5	47,5	51,5	42	50,0	50,0	49,5	51,5
Полюсное перекрытие:																	
геометрическое $\alpha_{геом}$	—	—	—	—	—	—	0,685	0,632	0,685	—	—	—	—	—	—	—	—
расчетное α_δ	0,696	—	0,7	—	—	—	—	0,67	0,705	—	—	—	0,635	—	0,65	0,65	0,67
Полюсное деление τ, см	50	51,8	38,7	47,2	47,2	38,7	38,7	34,5	51,8	37,2	32,5	32,5	34,5	40,6	40,8	40,0	40,8
Эффективный воздушный зазор $\delta_э$, мм	—	—	4,5	—	—	—	4,5	4,7	5,15	—	—	—	—	—	6,5	7,0	6,5
Щеточное перекрытие $\gamma = \frac{b_ш}{t_к}$	2,56	4,56	4,05	3,28	3,21	4,05	4,05	5,31	5,55	3,64	5,56	4,67	3,15	3,64	3,64	3,27	4,65
Ширина зоны коммутации $b_к$, см	—	—	—	—	—	—	6	6,15	8,07	—	—	—	—	—	—	—	7,18
Коэффициент рассеяния главных полюсов $\sigma_г$	—	—	1,2	—	—	—	1,13	1,25	1,15	—	—	—	—	—	1,2	1,2	1,15
Коэффициент рассеяния добавочных полюсов $\sigma_д$	—	—	2,2	—	—	—	2,26	2,49	2,15	—	—	—	—	—	—	—	4,15
Линейная нагрузка A, А/см	407	372	351	313	306	388	389	492	420	470	506	531	289	295	294	420	339
Объем тока в пазу $i_a N_z$, А	1425	1325	1090	965	990	1200	1204	1169	1550	1206	1130	1050	925	1020	1020	1630	1205
Среднее межламельное напряжение $e_{ср}$, В	21,1	14,75	17,15	14,8	17,2	16,5	18,3	16,4	17,25	18,4	17,25	16,7	19,8	18,3	18,2	14,6	9,32

Продолжение табл. VII-5

Показатели	Тяговые двигатели электровозов постоянного тока					Тяговые двигатели электровозов переменного тока							Тяговые двигатели электропоездов				
	ДПЭ-400А	НБ-406А, НБ-406Б	ТЛ-2К	AL4846zT	AL4846eT	НБ-412М	НБ-412К	НБ-418К	НБ-420Б	AL4422nP	ТАО-619А1, ТАО-619В1	GB 317/23a	ДК-103	ДК-106Б	УРТ-110А	РТ-113	РТ-117*
Напряжение на 1 см длины окружности коллектора, В/см	33,9	33,9	43,4	34,5	34,5	42	46	35	38,2	26,8	31	39	50	41,5	41,5	22,8	21,7
Фактор коммутации $Ae_{ср}$, $\frac{АВ}{см}$	8800	5500	6058	4620	5250	6400	7100	8100	7240	8660	8750	8900	5750	5400	5350	6130	3160
Реактивная э. д. с. по А. Б. Иоффе $e_ч$, В	—	—	2,74	—	—	—	3,94	3,1	3,16	—	—	—	—	—	—	—	1,665
Коэффициент заполнения паза медью $\varphi_м = q_a N_z / h_п b_п$	0,410	0,36	0,332	0,31	0,326	0,386	0,386	0,45	0,41	0,496	0,49	0,507	0,301	0,352	0,324	0,57	0,318
Степень компенсации реакции якоря добавочными полюсами $\nu = \frac{I_ч w_{дп}}{0,5\tau A}$, A^2	1,57	1,34	0,69	1,23	1,31	1,144	0,69	0,825	0,69	1,245	1,38	0,545	1,485	1,39	1,39	1,28	1,24
Фактор нагрева $Aj_а$, A^2/см · мм²	1690	1940	1895	1990	1930	2330	2320	3030	2190	3150	3620	3110	1680	1470	1610	2280	2030
Плотность тока:																	
в обмотке якоря $j_а$, А/мм²	4,15	5,2	5,4	6,4	6,3	6,0	5,98	6,15	5,21	6,7	7,15	5,85	5,85	5,0	5,48	5,18	5,98
в обмотке главных полюсов $j_{гп}$, А/мм²	3,10	2,92	3,71	3,1	3,53	3,52	3,89	3,26	3,85	5,15	6,09	3,86	3,48	3,74	2,1	3,17	3,11
в обмотке добавочных полюсов $j_{дп}$, А/мм²	2,73	3,09	3,91	3,25	3,87	3,94	3,94	5,65	4,3	5,4	5,7	4,05	3,48	3,74	3,27	3,12	3,01
в компенсационной обмотке $j_{ко}$, А/мм²	—	—	0,5	—	—	—	6,19	5,75	6,94	—	—	—	—	—	—	—	—
под щетками $j_щ$, А/см²	9,1	9,5	9,72	8,7	9,1	10,75	10,75	12,2	12,5	12,6	16,4	10,9	—	7,15	7,14	10,75	10,75
Индукция, Т·10⁴:																	
в воздушном зазоре под главным полюсом $B_δ$	10 850	—	9 200	—	—	—	9 750	10 000	10 080	—	11 100	—	7 620/ 9 350*2	—	7 100/ 9 550	8 230	9 060
в зубцах якоря $B_{z^1/_3}$	23 750	—	19 400	—	—	—	20 000	21 300	21 100	—	21 200	—	17 200/ 20 950	—	15 400/ 20 700	19 300	19 050
в ярме якоря B_a	15 150	—	15 850	—	—	—	13 400	13 500	15 500	—	9 740	—	12 800/ 15 600	—	9 300/ 12 650	12 400	1 230
в зубцах полюса $B_{zко}$	—	—	14 750	—	—	—	18 750	16 450	19 450	—	—	—	—	—	—	—	—
в сердечнике главного полюса B_m	17 800	—	9 000	—	—	—	15 750	14 350	11 850	—	17 000	—	15 000/ 18 200	—	11 650/ 15 700	14 700	16 300
при выходе из полюса в остов B_{mo}	—	—	14 600	—	—	—	15 400	12 900	12 320	—	—	—	—	—	—	14 900	18 050
в ярме остова B_j	16 350	—	15 500	—	—	—	15 400	13 700	14 700	—	14 050	—	13 100/ 16 000	—	11 300/ 15 200	14 600	15 450
в воздушном зазоре под добавочным полюсом $B_{δд}$	—	—	1 240	—	—	—	1 360	1 310	1 350	—	—	—	—	—	—	—	—
в сердечнике добавочного полюса $B_{mд}$	—	—	5 500	—	—	—	4 650	4 380	4 590	—	—	—	—	—	—	—	—
Потери (при часовом режиме), Вт:																	
в меди всех обмоток	15 900	—	29 920	—	—	—	30 860	31 338	—	—	—	—	10 700	—	10 400/ 9 800	16 750	15 900
в стали	11 400	—	12 100	—	—	—	14 400	8 250	—	—	—	—	3 250	—	4 180/ 5 300	3 150	3 660
добавочные	2 000	—	3 630	—	—	—	4 320	2 470	—	—	—	—	980	—	1 250/ 1 590	945	1 090
в переходном слое на коллекторе	870	—	2 300	—	—	—	1 030	1 760	—	—	—	—	300	—	459/396	688	700
на трение (щеток, подшипников)	2 550	—	2 232	—	—	—	3 300	3 400	—	—	—	—	2 770	—	2 520/ 1 512	1 815	1 970
всего	32 720	—	50 082	—	—	—	54	47,218	—	—	—	—	17 700	—	18 800/ 18 688	23 286	23 320
Полезная мощность, кВт	402,28	—	64,918	—	—	—	770	789	—	—	—	—	180	—	200	234,7	234,7
Потребляемая мощность, кВт	435	—	700	—	—	—	824	836	—	—	—	—	198	—	229,5/198	258	258,0
К. п. д., %	92,0	—	92,8	—	—	—	93,4	94,36	—	—	—	—	91,0	—	91,8/90,5	90,9	91,0

* Все данные по двигателю РТ-117 отнесены к номинальному режиму при степени возбуждения $\beta = 0,5$.

*2 В числителе везде величина при нормальном поле, в знаменателе — при усиленном.

кольцо, допускающее изменение длины коллекторных пластин при нагревании, а также упругую деформацию коллектора при высоких скоростях. Усилие запрессовки корпуса 80 тс.

Тяговые двигатели AL4846eT и AL4846zT. Они выполнены с одинаковыми диаметрами якоря и коллектора, но имеют различные обмоточные данные (см. табл. VII-4).

У двигателя AL4846eT уравнительные соединения помещены на стороне коллектора, а у AL4846zT — с противоположной стороны. В связи с этим несколько различны съемные фланцы якоря.

Привод двигателя AL4846zT выполнен пластинчатым (системы Сешерон), а двигателя AL4846eT — карданным (системы Шкода). В связи с этим изменено устройство полого вала якоря и различны размеры узлов роликовых подшипников. Различно и передаточное число зубчатых колес (см. табл. VII-3). Смазка подшипников у двигателя AL4846zT жидкая, а у AL4846eT — густая.

Тяговые двигатели УРТ-110А, ДК-106А и ДК-106Б. Переход от двигателя ДК-106А к ДК-106Б вызван стремлением снизить потенциальную напряженность двигателя, которая в первом приближении может оцениваться величиной среднего межламельного напряжения $e_{к.ср}$. У двигателя ДК-106А $e_{к.ср} = 25{,}6$ В, у ДК-106Б — 18,3 В. Это достигнуто увеличением числа активных проводников N с 470 до 658, коллекторных пластин K с 235 до 329 и диаметра коллектора с 438 до 460 мм. Изменилось несколько число активных проводников в пазу N_z и размеры меди обмоток якоря и полюсов (см. табл. VII-4).

Дальнейшая модернизация двигателя ДК-106Б привела к созданию машины УРТ-110А. У двигателя ДК-106Б — коллектор со стальными зажимными конусами и стальные бандажи на лобовых частях обмотки якоря. У двигателя УРТ-110А бандажи выполнены из стекловолокна. Изменена также конструкция щеткодержателя: у двигателя ДК-106Б он со спиральными нажимными пружинами, сменной обоймой для щеток и с пальцами, изолированными миканитом; у двигателя УРТ-110А пружины цилиндрические, а пальцы выполнены на пластмассе.

Кроме того, применена различная изоляция. У двигателя ДК-106Б активные проводники обмотки якоря изолированы микалентой ЛФЧ1 0,08×20 одним слоем вполуперекрышу, корпусная изоляция — микалентой этой же марки 0,13×25 — шестью слоями вполуперекрышу. У двигателя УРТ-110А проводники изолированы стеклолакотканью ЛСЭ одним слоем вполуперекрышу, а корпусная изоляция — липкой стеклоэскапоновой лентой 0,17×20 в четыре слоя вполуперекрышу.

Тяговые двигатели РТ-117 и РТ-113. Предназначены для работы на моторных вагонах электропоездов с рекуперативно-реостатным торможением, что предъявляет к ним особые требования.

При рекуперативном торможении напряжение в сети выше, чем при режимах тяги, и равно обычно 3500—3,600 В, а нередко и 3800—3900 В. Кроме того, для достаточно эффективного торможения приходится заставлять двигатель работать с токами в цепи якоря, доходящими до 1,5 $I_н$, что приводит к достаточно резкому повышению как средних, так и максимальных межламельных напряжений.

Тяговый двигатель РТ-113 оказался слишком напряженной в потенциальном отношении машиной, склонной к возникновению кругового огня на коллекторе, поэтому он с производства был снят и заменен двигателем РТ-117.

Вместо волновой обмотки у двигателя РТ-113 обмотка якоря у двигателя РТ-117 сделана петлевой, диаметр якоря увеличен с 510 до 520 мм, число пазов с 41 до 46, число коллекторных пластин с 205 до 322, линейная нагрузка якоря снижена с 418 до 339 А/см. Все это привело к тому, что мощность двигателя с 220 увеличена до 230 кВт, при той же тепловой напряженности, а среднее межламельное напряжение снижено с 14,7 В до 9,32 В.

В связи с меньшей линейной нагрузкой якоря уменьшено перераспределение индукции в воздушном зазоре машины под действием реакции якоря, а следовательно, величины максимальных межламельных напряжений e_{max}, являющихся основной причиной возникновения кругового огня на коллекторе. Так, у двигателя РТ-117, при начале торможения со 110 км/ч при токе $I = 1{,}5\ I_ч$ напряжение $e_{max} \leqslant 42{,}5$ В, а при торможении со 130 км/ч и токе $I = 1{,}3\ I_ч$ напряжение $e_{max} \leqslant 45$ В, в то время как для двигателя РТ-113 эти величины соответственно равны 66 и 69В.

VII-6. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ГЛАВНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Главные генераторы установлены на тепловозах с электрической передачей и служат для преобразования механической энергии дизеля в электрическую. Кроме того, генераторы используют для пуска дизелей, при этом они работают в режиме электрического двигателя последовательного возбуждения и приводят в движение коленчатые валы дизелей. Для этого в генераторе предусмотрена пусковая обмотка.

Главные генераторы ГП-311, ГП-311Б, ГП-311В, МПТ-120/49, МПТ-120/55А, МПТ-99/47А, ГП-300Б и ГП-312 установлены на тепловозах с электрической передачей постоянного тока. Главные генераторы ГС-501А и ГС-504 предназначены для тепловозов с передачей переменно-постоянного тока. Конструкция генераторов показана на рис. VII-47 — VII-51. Генераторы МПТ-120/49, затем на их базе генераторы МПТ-120/55А и генераторы ГП-311 спроектированы для тепловозов на 3000 л.с.

Указанные генераторы имеют одинаковые габаритные размеры и аналогичные

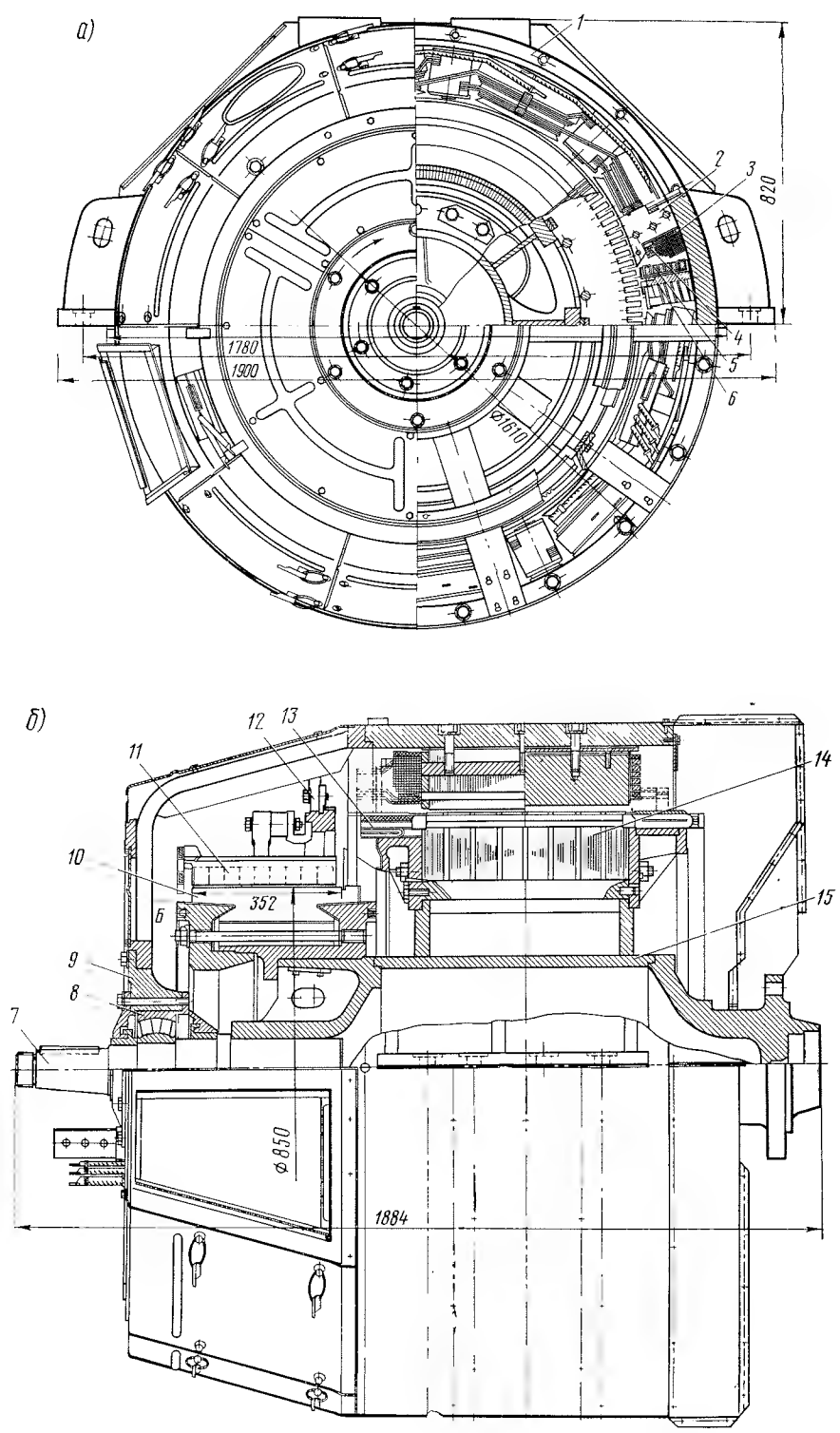


Рис. VII-47. Поперечный (*а*) и продольный (*б*) разрезы тягового генератора ГП-311Б:
1 — станина; *2* — сердечник главного полюса; *3* — пусковая обмотка; *4* — обмотка независимого возбуждения; *5* — обмотка добавочного полюса; *6* — сердечник добавочного полюса; *7* — вал; *8* — подшипник якорный; *9* — щит подшипниковый; *10* — коллектор; *11* — щеткодержатель; *12* — траверса; *13* — обмотка якоря; *14* — пакет сердечника якоря; *15* — корпус якоря

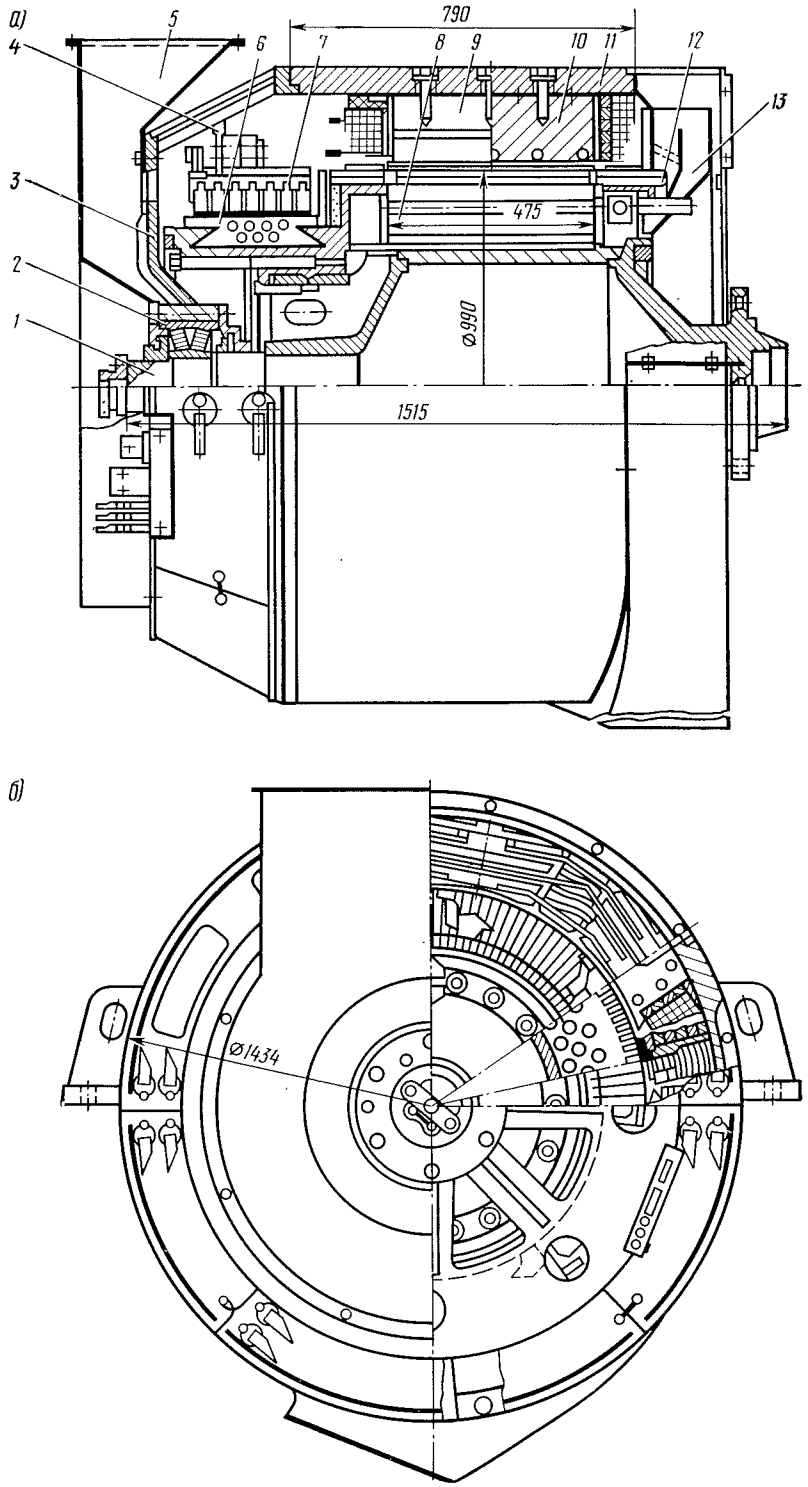


Рис. VII-48. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы тягового генератора МПТ-99/47А:

1 — вал; *2* — подшипник якорный; *3* — щит подшипниковый; *4* — траверса; *5* — патрубок вентиляционный; *6* — коллектор; *7* — щеткодержатель; *8* — сердечник якоря; *9* — полюс главный; *10* — полюс добавочный; *11* — станина; *12* — обмотка якоря; *13* — вентилятор

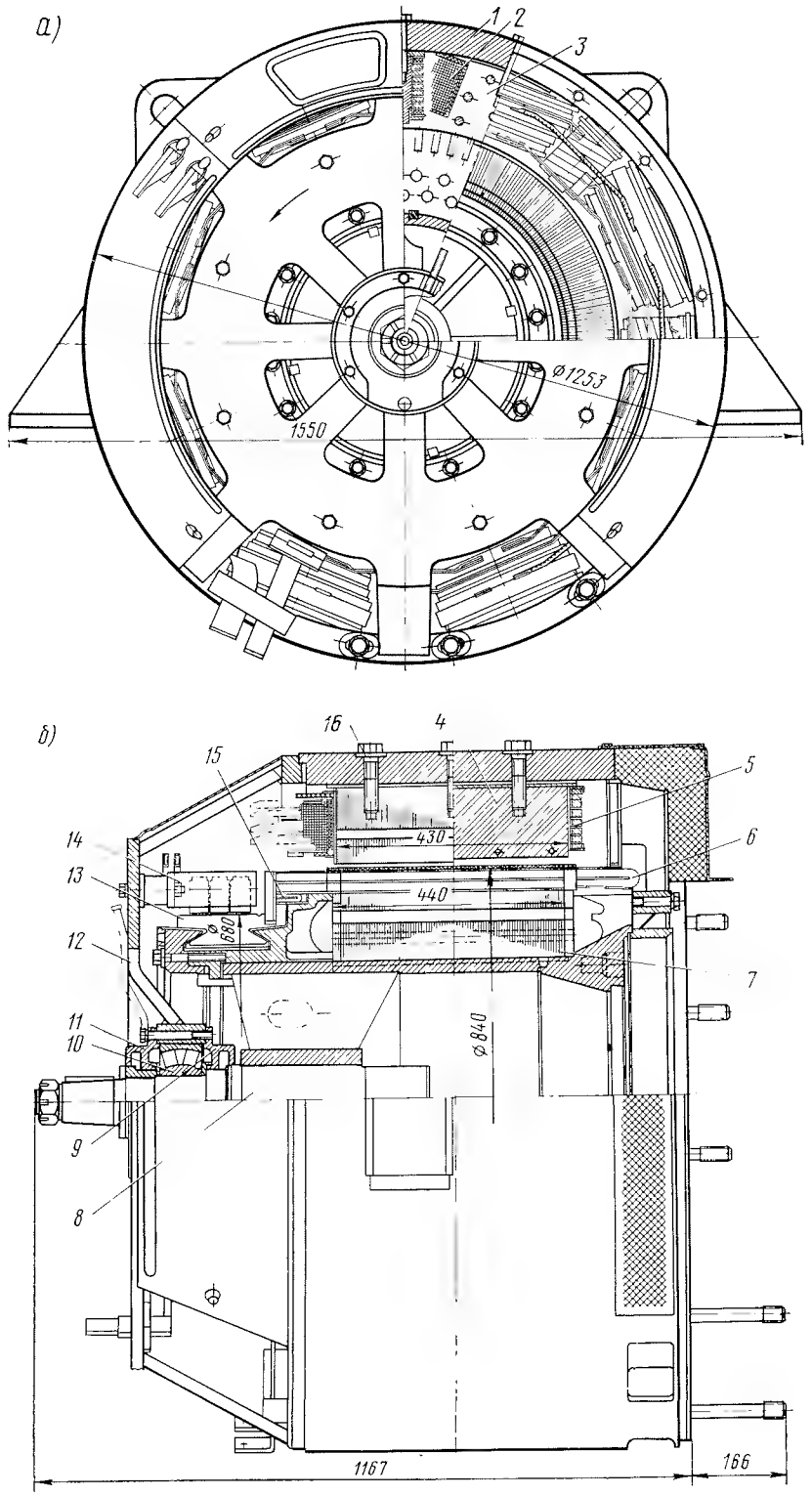


Рис. VII-49. Поперечный (*а*) и продольный (*б*) разрезы тягового генератора ГП-300Б:

1 — станина; *2* — катушка главного полюса; *3* — сердечник главного полюса; *4* — сердечник добавочного полюса; *5* — катушка добавочного полюса; *6* — обмотка якоря; *7* — сердечник якоря; *8* — вал; *9* — крышка подшипникового щита внутренняя; *10* — подшипник якорный; *11* — крышка подшипникового щита наружная; *12* — щит подшипниковый; *13* — коллектор; *14* — щеткодержатель; *15* — уравнитель; *16* — болты крепления полюсов

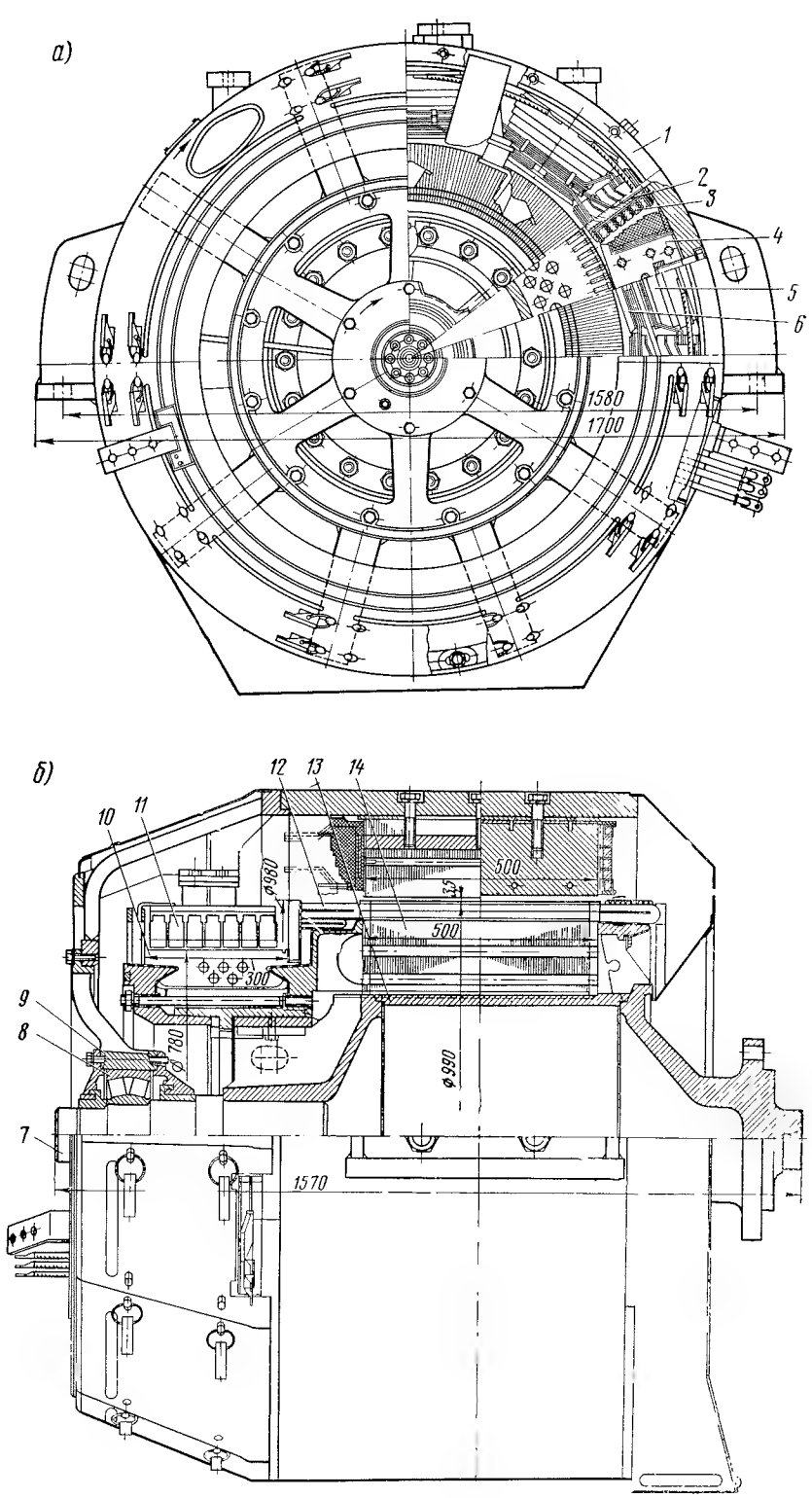


Рис. VII-50. Поперечный (*а*) и продольный (*б*) разрезы тягового генератора ГП-312: *1* — остов; *2* — сердечник добавочного полюса; *3* — катушка добавочного полюса; *4* — сердечник главного полюса; *5* — пусковая обмотка; *6* — обмотка независимого возбуждения; *7* — вал; *8* — подшипник; *9* — щит подшипниковый; *10* — коллектор; *11* — щеткодержатель; *12* — обмотка якоря; *13* — корпус якоря; *14* — пакет якоря

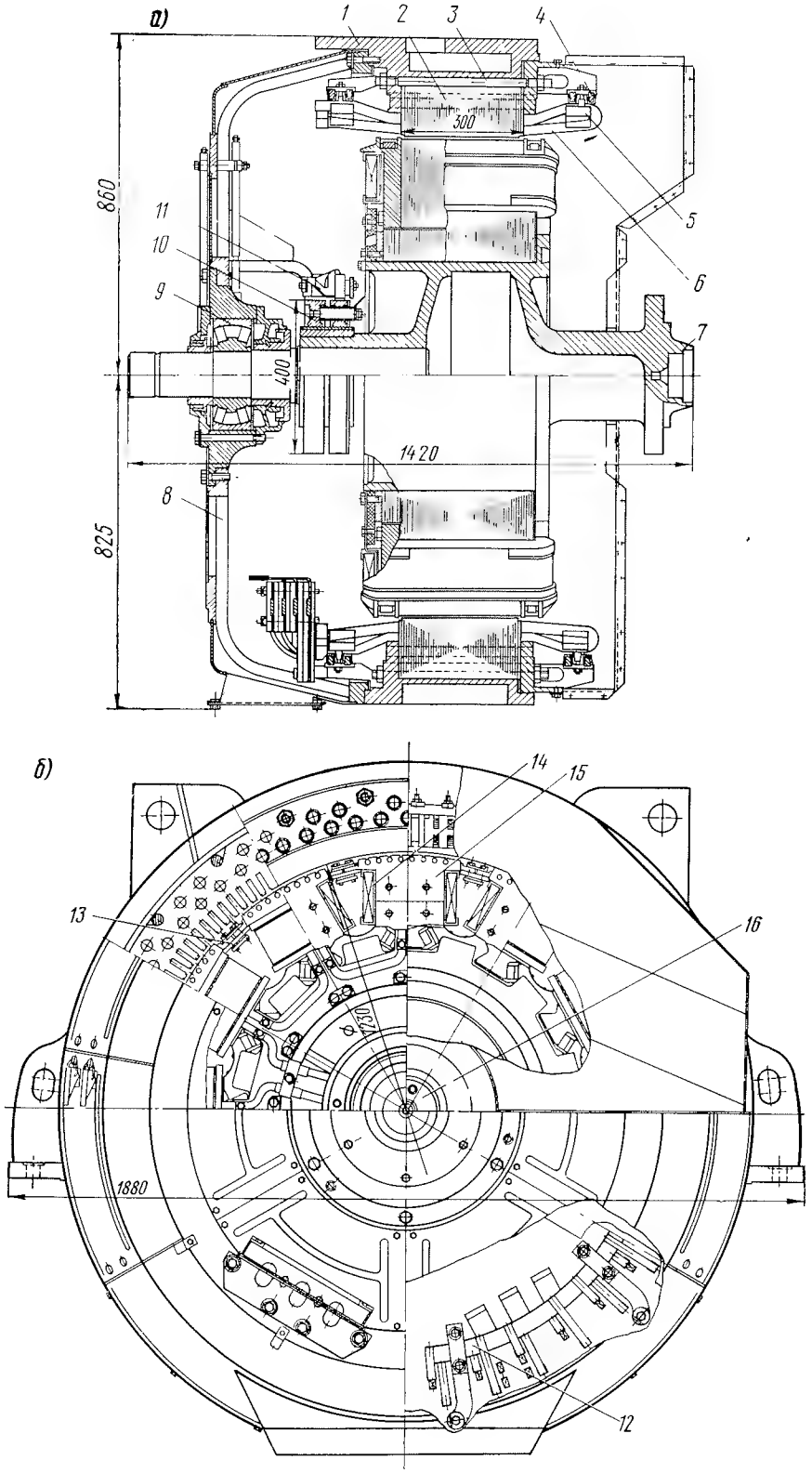


Рис. VII-51. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы тягового генератора ГС-501А: *1* — корпус статора; *2* — статор; *3* — шпилька статора; *4* — кольцо изолированное; *5* — обмоткодержатель; *6* — обмотка статора; *7* — корпус ротора; *8* — щит подшипника; *9* — подшипник; *10* — кольцо контактное; *11* — щеткодержатель; *12* — соединение обмотки статора; *13* — соединение катушек ротора; *14* — катушка полюса ротора; *15* — сердечник полюса; *16* — вал

конструкции основных узлов. В настоящее время выпускают генераторы ГП-311Б и ГП-311В. Генераторы ГП-311 работают на тепловозах ТЭ10 и ТЭП10, генераторы ГП-311Б — на тепловозах ТЭП10Л и 2ТЭ10Л, генераторы ГП-311В — на тепловозах ТЭП60. Якоря этих генераторов имеют укороченный вал. Сердечник якоря набран из отдельных штампованных сегментов.

Удерживается сердечник двумя стальными обмоткодержателями.

Со стороны коллектора установлен двухрядный сферический подшипник. Коллекторные пластины изготовляют из легированной коллекторной меди. Они имеют приварные «петушки». В конструкции генератора предусмотрена траверса.

С целью повышения эксплуатационной надежности генераторов конструкция их узлов за последние годы значительно улучшена: в якоре применена петлевая обмотка с уравнительными соединениями вместо лягушачьей двухходовой, введена пайка обмотки коллектора вибростойким и теплостойким припоем, усовершенствована конструкция подшипникового узла, внедрен щеткодержатель с постоянным нажатием на щетку, улучшена вентиляция генератора и др.

Генераторы МПТ-120/49 и МПТ-120/55А установлены на грузовых и пассажирских тепловозах. Генераторы МПТ-120/49 выпускались с 1958 по 1964 г.; генераторы МПТ-120/55А — с 1960 по 1966 г.; они имеют одинаковые конструкции основных узлов и деталей.

Основные отличия этих генераторов заключаются в следующем: генератор МПТ-120/49 имеет меньшую длину сердечников якоря и полюсов (частота вращения этого генератора на 100 об/мин больше, чем генератора МПТ-120/55А) и траверсу. В отличие от генераторов ГП-311 всех индексов генераторы МПТ-120/49 и МПТ-120/55А не имеют пусковой обмотки на главных полюсах.

Генераторы МПТ-99/47А установлены на тепловозах ТЭ3. Основным отличием генераторов МПТ-99/47А, спроектированных на базе генераторов МПТ-99/47 (выпуск с 1953 по 1958 г.) от последних является отсутствие компенсационной обмотки, что обусловило введение соответствующих изменений в конструкцию полюсов генераторов. Начиная с 1962 г. генераторы МПТ-99/47А выпускались с укороченным валом.

Генераторы ГП-300Б устанавливают на маневровых тепловозах ТЭМ2. По сравнению с генераторами грузовых и пассажирских тепловозов они имеют значительно меньшую мощность и габаритные размеры, а также некоторые особенности в конструкциях отдельных узлов. Генератор является самовентилирующейся машиной с параллельной вентиляцией. Воздух засасывается через отверстия в подшипниковом щите. В 1960—1962 гг. на тепловозах ТЭМ2 устанавливались генераторы ГП-300А.

Тяговые генераторы ГС-501А и ГС-504 синхронные, предназначены для грузовых и пассажирских тепловозов с электрической передачей переменно-постоянного тока (см. рис. VII-51). Генераторы имеют две статорные обмотки, смещенные друг относительно друга на 30° и соединенные в «звезду». Корпусная изоляция обмотки статора выполнена из двух слоев полиамидной и трех слоев активированной фторопластовой пленки и пропитана в кремнийорганическом лаке или имеет изоляцию типа «Монолит 2». Катушки ротора выполнены с изоляцией «Монолит 2» (до 1973 г. применялась заливка в компаунде ЭПК-1). Обмотка статора удерживается в пазах клиньями, в лобовых частях — креплением к специальным обмоткодержателям. Ротор представляет собой корпус с двенадцатью приливами, на которых размещены полюсы с обмоткой; обмотка — катушечная. Вал ротора — укороченный. Отвод тока производится через контактные кольца и щеточный аппарат.

Исполнение генераторов — защищенное с независимой вентиляцией, подача охлаждающего воздуха производится со стороны, противоположной контактным кольцам.

Основные технические данные тяговых генераторов постоянного тока приведены в табл. VII-6.

Основные технические данные генераторов переменного тока тепловозов

Тип генератора	ГС-501А	ГС-504А
Установлены на тепловозах	ТЭ109, 2ТЭ116	ТЭП70
Количество обмоток	2	2
Угол смещения обмоток, град	30	30
Число фаз	3	3
» полюсов	12	12
Частота, Гц	100	100
Режим	продолжительный	
Мощность, кВт	2190	2750
Напряжение линейное, В	300/535	360/580
Ток, А	2×2440/2×1330	2×2400/2×1500
» перегрузки (кратковременный), А	2×3700	2×3400
Ток возбуждения при высоком напряжении, А	145	160
Ток возбуждения при номинальной нагрузке, А	180	180
Напряжение на кольцах, В	130	135
К. п. д., %	93,8	95
Частота вращения, об/мин	1000	1000
Расход воздуха, м³/ч	16 000	16 000
Напор, мм вод. ст.	140	150
Воздушный зазор по центру полюса, мм	5,0	5,5
Воздушный зазор по краю полюса, мм	7,5	7,5
Статор		
Диаметр наружный, мм	1530	1530
» внутренний, мм	1230	1230
Длина, мм	300	326
Количество вентиляционных каналов	120	120
Диаметр канала, мм	24	24
Марка стали статора	Э-43	Э-43
Толщина листов статора, мм	0,5	0,5
Количество пазов	144	144
Размеры паза, мм:		
высота	54	54
ширина	11,8	11,8
Класс изоляции по нагревостойкости, не ниже	F	H
Число эффективных проводников в пазу	2	2
Сечение проводника, мм²	171	171
Плотность тока, А/мм²	3,9/7,15	4,4/7,02
Число пазов на полюс и фазу	2×2	2×2
Шаг по пазам	1—13—25	1—13—25
Число параллельных ветвей в фазе	2×2	2×2
» витков в фазе	12	12
Средняя длина витка, мм	1740	1780
Сопротивление одной фазы при 20° С, Ом	0,0011	0,0011
Масса меди, кг	380	391
» активной стали, кг	950	1075
Размеры провода ПСД (неизолированного), мм	2,1×9,3	2,1×9,3
То же изолированного, мм	2,4×9,7	2,4×9,7
Ротор		
Размеры сердечника полюса под катушку, мм	155×300	155×315
Толщина стали полюса, мм	1,4	1,4
Класс изоляции по нагревостойкости	F	F
Число витков на полюс	75	75
» параллельных ветвей	1	1
Средняя длина витка, мм	1080	1135
Размер меди обмотки, мм	1,35×25	1,35×25
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	0,51	0,535
Масса обмотки, кг	296	303
Марка щетки	ЭГ-4	ЭГ-4
Размеры щетки, мм	25×32×64	25×32×64
Демпферная обмотка		
Число стержней на полюс	8	8
Размер дуги, мм	12,5×30	12,5×30
Диаметр стержня, мм	10	10

VII-7. ТЯГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ТЕПЛОВОЗОВ

Тяговые двигатели тепловозов даже по сравнению с тяговыми двигателями электровозов имеют более жесткие габаритные и весовые ограничения. Это потребовало применения в узлах и деталях двигателей специальных конструктивных решений. Для тяговых двигателей тепловозов характерны следующие основные особенности: передача вращающего момента от двигателя на ось колесной пары производится через одностороннюю зубчатую передачу, поэтому в конструкции якорных подшипников предусмотрена установка со стороны

Таблица VII-6

Основные технические данные тяговых генераторов тепловозов

Показатели	Тяговые генераторы типа					
	ГП-311, ГП-311Б, ГП-311В	МПТ-99/47А	МПТ-120/49	МПТ-120/55А	ГП-300Б	ГП-312
Серия тепловоза	2ТЭ10Л, ТЭП10Л, ТЭ10, ТЭП10, ТЭП60	ТЭ3, ТЭ7	ТЭ10, ТЭП10, 2ТЭ10Л	ТЭП60	ТЭМ2	М62, М62С
Год начала выпуска	1963	1958	1958	1960	1966	1964
Режим работы	Продолжительный					
Мощность, кВт	2000	1350	2000	2000	780	1270
Напряжение низшее, В	465	550	470	470	645	356
» высшее, В	700/635*	820	700	700	870	570
Ток, А	4320	2460	4260	4260	1210	3570
» максимальный, А	6600	4000	6600	6600	1900	6000
Частота вращения, об/мин	850/750*	850	850	750	750	750
К. п. д., %	93,8	94,5	95,7	95,4	94	94,5
Габаритные размеры, мм	1884×1900×1640	1600×1700×1637	1884×1900×1635	2040×1900×1635	1232×1550×1323	1570×1700×1495
Масса генератора, кг	8700/9000*[2]	7600	9200	9650	4800	7400
Число главных полюсов	10	8	10	10	8	10
» добавочных полюсов	10	8	10	10	8	10
Воздушный зазор под главным полюсом, мм	5/15*[3]	5	5/15*[3]	5/15*[3]	4	3,5/14,5*[3]
То же под добавочным полюсом, мм	15,5	11,5	13,0	13,5	8	9,5
Немагнитная прокладка под добавочным полюсом, мм	2	3	2	2	1	3
Тип подшипника	2Н3626К	2Н3626К	2Н3626К	2Н3626К	2Н3626К	2Н3626К
Расход воздуха, м³/ч	15 000	9000	15 000	15 000	6480	9600
Статический напор, мм вод ст.	100/140*	—	140	230	—	75
Маховой момент, кгс/м²	3150	1820	3150	3400	770	1900
Станина						
Диаметр наружный, мм	1610	1434	1610	1610	1253	1434
» внутренний, мм	1500	1320	1500	1500	1139	1334
Сечение станины, см²	400	450	400	450	342	375
Длина, мм	725	790	725	820	600	750
Главный полюс						
Материал листов сердечника	Э310	ст.2	Э310	Э310	ст2	Э310
Толщина листов, мм	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0
Сечение сердечника, мм	170×484	190×475	170×484	170×547	165×430	150×500
Обмотка независимого возбуждения (параллельная)						
Количество витков на полюс	105	140	36/5*[4]	36/5*[4]	99	109
Марка провода	ПСД	ПСД	МГМ	ПСД	ПСД	ПСД
Сечение провода неизолированного, мм	4,7×6,9	4,7×6,9	2×40/3×30	2×40/3×30	4,1×6,9	4,7×6,9
Класс изоляции по нагревостойкости	Н	Н	В	Н,В	В	Н
Плотность тока, А/мм²	3,6/3,94*	3,17	3,38	3,7	2,78	3,5
Средняя длина витка, мм	1500	1580	1500	1630	1350	1460
Сопротивление при 20°С, Ом	0,857	0,985	0,135	0,148	0,685	0,89
Масса меди, кг	446	515	385/60	413/64	293	462
Пусковая обмотка						
Количество витков на полюс	3	3	—	—	3	3
Сечение провода МГМ, мм	6,5×28	1,95×90	—	—	1,95×90	1,95×90
Класс изоляции по нагревостойкости	Н	Н	—	—	В	Н
Средняя длина витков, мм	1470	1540	—	—	1310	1350
Сопротивление при 20°С, Ом	0,00473	0,00372	—	—	0,0033	0,004
Масса меди, кг	71	57,5	—	—	49	65
Добавочный полюс						
Материал сердечника	Ст3	Ст2	Стальной прокат		Ст3	Ст3
Сечение сердечника, мм	50×494	50×475	50×494	50×557	50×430	45×500
Толщина диамагнитной прокладки, мм	2	3	2	2	1	5
Количество витков на полюс	6	9	6	6	8	6
Сечение провода МГМ, мм	16×25	12,5×25	16×25	16×30	14×20	20×20
Класс изоляции по нагревостойкости	В	В	В	В	Н	В
Средняя длина витка, мм	1310	1220	1110	1340	1100	1300
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	0,000865	0,00147	0,000736	0,00739	0,0039	0,0009
Масса меди, кг	263	200	240	342	160	277
Плотность тока, А/мм².	5,41	3,95	5,34	4,45	4,34	4,46

Показатели	Тяговые генераторы типа					
	ГП-311, ГП-311Б, ГП-311В	МПТ-99/47А	МПТ-120/49	МПТ-120/55А	ГП-300Б	ГП-312
Якорь						
Диаметр сердечника наружный, мм	1200	990	1200	1200	840	990
Диаметр сердечника внутренний, мм	880	600	880	880	500	600
Длина сердечника, мм	494	475	494	557	440	500
Толщина листов сердечника, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Марка стали сердечника	Э31П	Э12	Э22	Э22	Э31	Э22
Число пазов	155	148	155	155	76	145
Ширина паза, мм	12	9,6	12	12	13,64	9,8
Высота паза, мм	37,3	41	37	37	46,3	41,2
Марка провода	МГМ или ПЭТВСД	МГМ	МГМ	МГМ	ПСД	ПСД
Сечение провода, мм	2,83×6,4	2,26×6,9	2,83×5,5	2,83×5,5	1,81×5,5	2,26×5,1
Класс изоляции по нагревостойкости	В	В	В	В	Н	В
Число эффективных проводов в пазу	6	6	6	6	5	6
Средняя длина витка, мм	1960	2040	2000	2080	1700	1770
Плотность тока в обмотке, А/мм²	6,15	5,08	7,05	7,05	5,17	5,4
Тип обмотки	Ступенчатая петлевая	Лягушачья двухходовая			Петлевая	Ступенчатая петлевая
Шаг обмотки по пазам	1—16, 1—17	1—19,1—20	1—16,1—17	1—16,1—17	1—10	1—15, 1—16
Количество уравнительных соединений	465	—	—	—	76	290
Шаг уравнительных соединений	1,94	—	—	—	1—96	1—88
Размер провода МГМ уравнительных соединений, мм	1,35×6,4	—	—	—	1,81×6,9	2,26×5,1
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	0,00114	0,00205	0,00136	0,0014	0,0060	0,00102
Масса обмотки, кг	285	244	250	260	210	248
» уравнителей, кг	30,2	—	—	—	6	22
Количество витков бандажа в лобовой части:						
передней	290	60	96	96	37	68
задней	250	70	96	96	37	44
Диаметр проволоки (сечение ленты), мм	0,2×20	2	2	2	2	2
Коллектор						
Диаметр рабочей части, мм	850	780	850	850	680	780
Длина, мм	350	308	365	365	150	295
Число пластин	465	444	465	465	380	435
Толщина изоляции между коллекторными пластинами, мм	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0
Щеточное перекрытие, мм	6,43	6,15	—	—	5,15	—
Напряжение между пластинами (среднее)*5, В	10/13,7*6	10/14,7	10,1/15	10,1/15	13,6/18,3	8,7/13,1
Окружная скорость, м/с	37,8/33,4*	34,6	37,8	33,4	26,6	30,6
Коллекторное деление, мм	5,75	5,52	5,75	5,75	5,62	5,63
*Щеткодержатели и щетки*7*						
Количество бракетов	10	8	10	10	8	10
» щеткодержателей	9	7	9	9	3	7
Марка щетки	ЭГ-14	ЭГ-14	ЭГ-14	ЭГ-14	ЭГ-14	ЭГ-14
Размеры щетки, мм	12,5×32×65	12,5×32×65	12,5×32×65	12,5×32×65	12,5×32×65	12,5×32×65
Количество щеток в щеткодержателе	2	2	2	2	2	2
Плотность тока в щетке, А/см²	12	11	10,9	10,9	12,6	11,8

* В числителе для ГП-311 и ГП-311Б; в знаменателе для ГП-311В.

*2 ГП-311 весит 9200 кг.

*3 В числителе — зазор по центру; в знаменателе — по краю указан для ГП-311Б; для ГП-311В зазор соответственно 1 и 14 мм.

*4 Генераторы МПТ-120/49 и МПТ-120/55 имеют две обмотки независимого возбуждения.

*5 В числителе — при низшем напряжении генератора; в знаменателе — при высшем напряжении.

*6 Данные указаны для ГП-311Б; для ГП-311В соответственно 10/15,1.

*7 На вновь выпускаемых генераторах ГП-311Б, ГП-311В, ГП-300Б, ГП-312 устанавливают щеткодержатели с постоянным нажатием пружин, щетки разрезной конструкции с резиновым амортизатором. Ранее на этих генераторах устанавливали реактивные щеткодержатели с двумя гнездами, щетки размером 12,5×32×65 мм со скосом на рабочей поверхности.

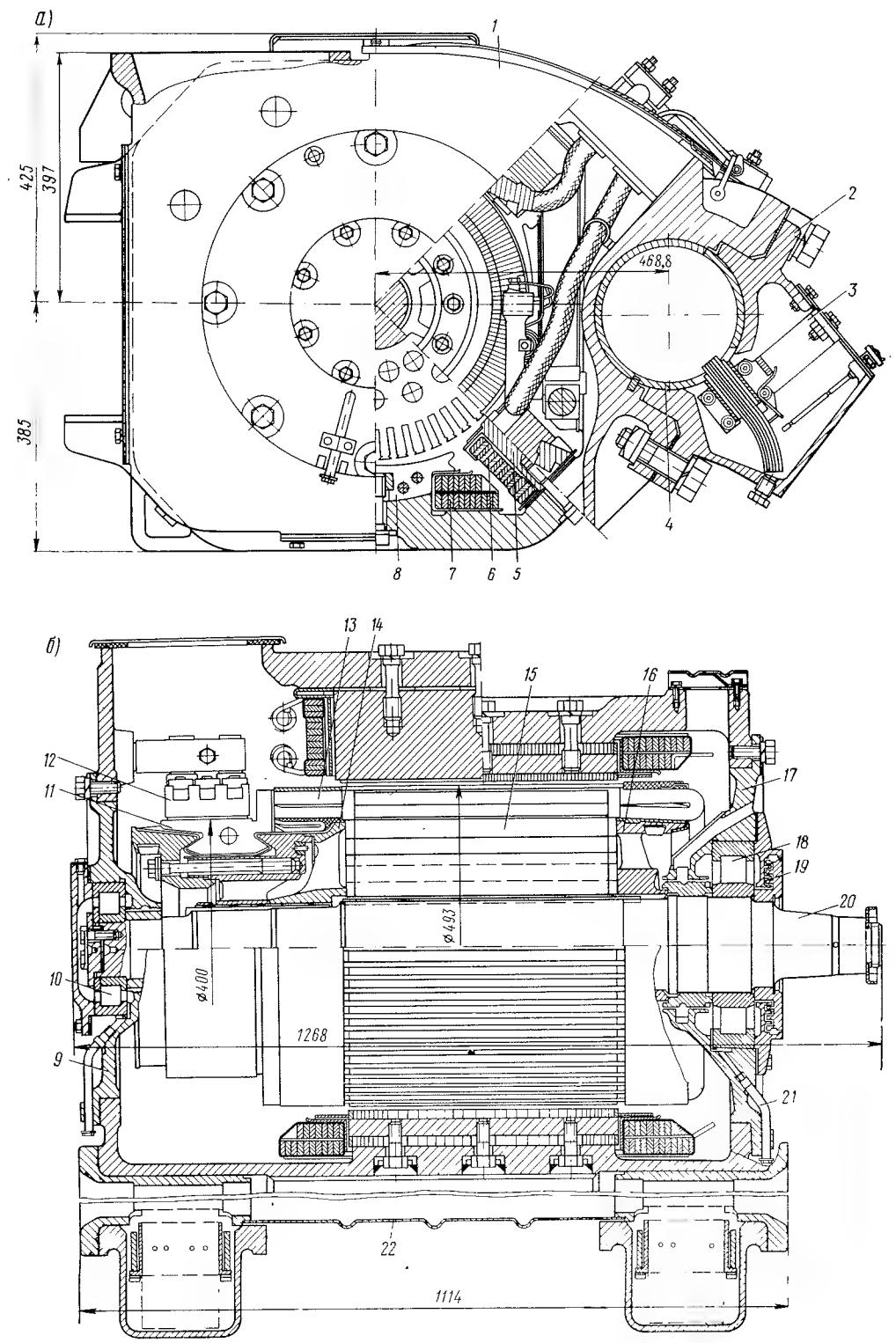


Рис. VII-52. Поперечный (*а*) и продольный (*б*) разрезы тягового двигателя ЭД-107А:
1 — остов; *2* — шапка моторно-осевого подшипника; *3* — польстер; *4* — моторно-осевой подшипник; *5* — сердечник добавочного полюса; *6* — катушка добавочного полюса; *7* — катушка главного полюса; *8* — сердечник главного полюса; *9, 17* — подшипниковые щиты; *10, 18* — якорные подшипники; *11* — коллектор; *12* — щеткодержатель; *13* — обмотка; *14, 16* — шайбы нажимные якоря; *15* — пакет сердечника якоря; *19* — уплотнение якорного подшипника; *20* — вал; *21* — трубка для подачи смазки в подшипник; *22* — крышка оси

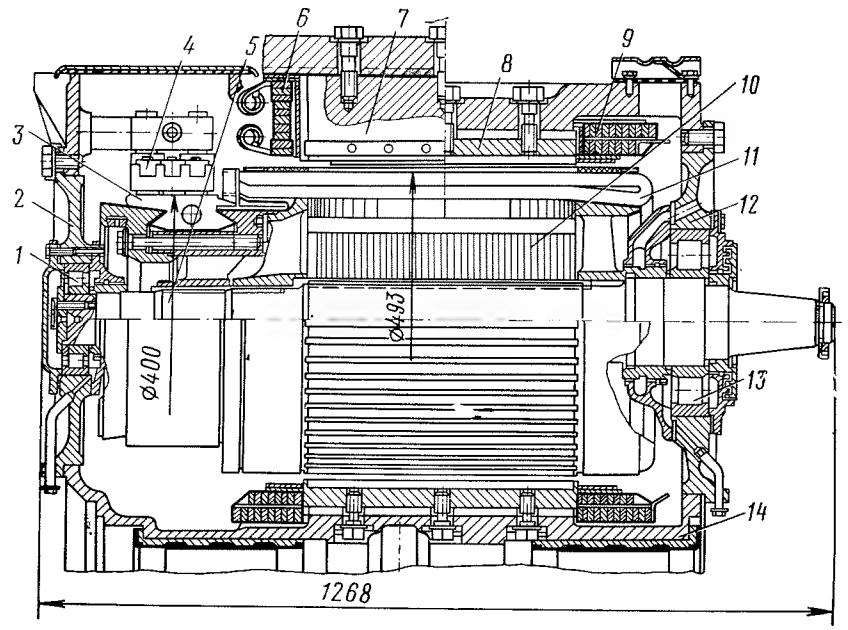


Рис. VII-53. Продольный разрез тягового двигателя ЭД-108:
1, 13 — подшипники якорные; *2, 12* — щиты подшипниковые; *3* — коллектор; *4* — щеткодержатели; *5* — вал; *6* — катушка добавочного полюса; *7* — сердечник добавочного полюса; *8* — сердечник главного полюса; *9* — катушка главного полюса; *10* — сердечник якоря; *11* — обмотка якоря; *14* — остов

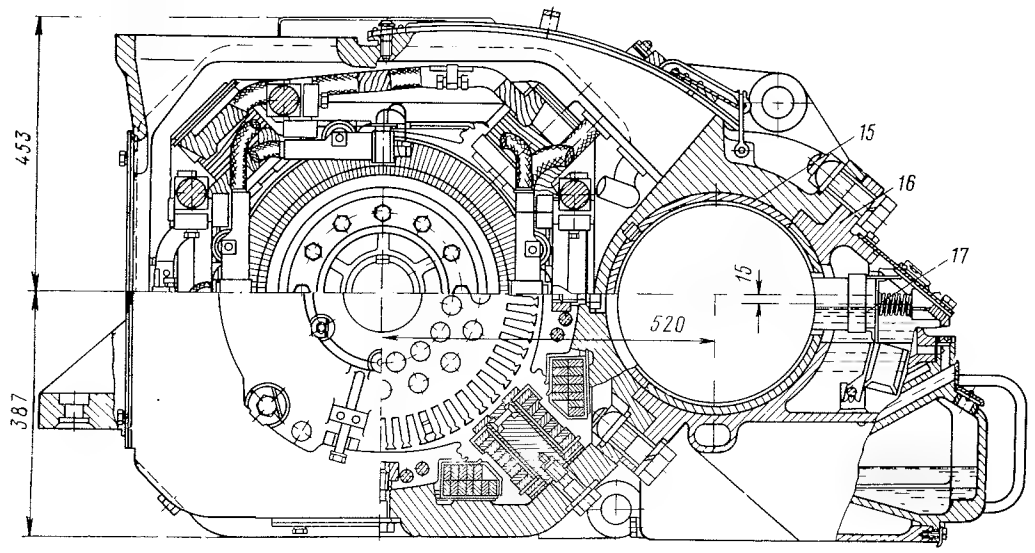


Рис. VII-54. Поперечный разрез тягового двигателя ЭД-108:
15 — вкладыши моторно-осевых подшипников; *16* — шапка; *17* — польстер

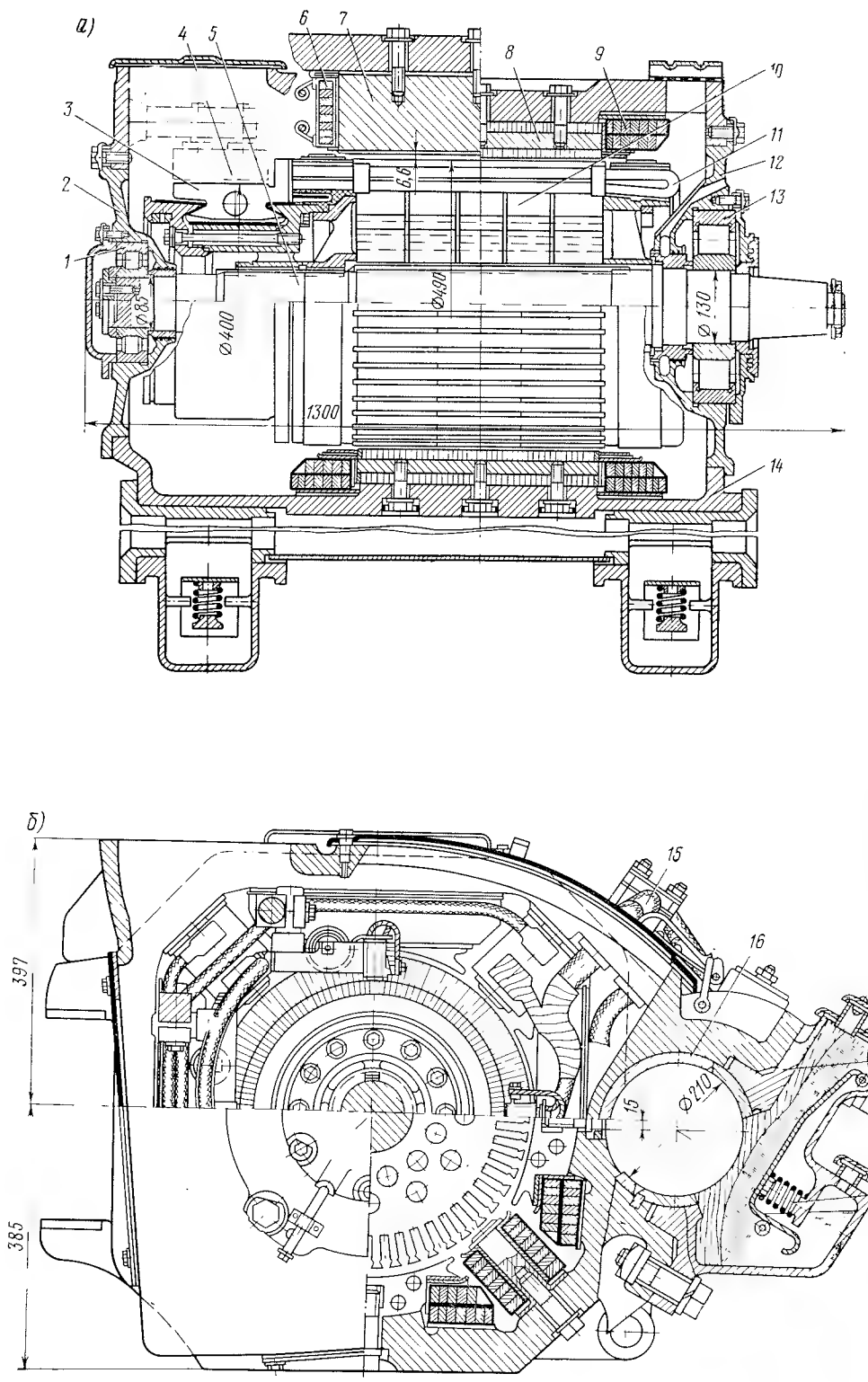


Рис. VII-55. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы тягового двигателя ЭДТ-200 Б:

1, 13 — подшипники якорные; *2, 12* — щиты подшипниковые; *3* — коллектор; *4* — щеткодержатель; *5* — вал; *6* — катушка добавочного полюса; *7* — сердечник добавочного полюса; *8* — сердечник главного полюса; *9* — катушка главного полюса; *10* — сердечник якоря; *11* — обмотка якоря; *14* — остов; *15* — кабели выводные; *16* — вкладыши моторно-осевых подшипников; *17* — шапка; *18* — польстер

привода свободного подшипника, а со стороны коллектора — упорного; подшипники роликовые, радиальный зазор принят по восьмому ряду зазоров. Моторно-осевые подшипники имеют польстерную систему смазки на грузовых тепловозах и принудительную — на пассажирских с опорно-рамной подвеской двигателей. Вентиляция двигателей принудительная, охлаждающий воздух проходит от вентиляционного отверстия со стороны коллектора и выходит через отверстия в подшипниковом щите. Пакет сердечника устанавливают на вал без втулки якоря, обмотка — петлевая с уравнительными соединениями, задняя лобовая часть — открытого исполнения. Крепление обмотки по пазовой части — клиньями, в лобовых — металлическими бандажами или стеклобандажами. Тяговые двигатели выполнены без компенсационных обмоток, щеточный аппарат крепят на остове двигателя без траверсы.

Для грузовых и маневровых тепловозов выпускают тяговые двигатели ЭД-118А, для пассажирских — ЭД-108А. Почти все узлы и детали этих двигателей унифицированы. Основные отличия — исполнение остова и моторно-осевых подшипников: у двигателей ЭД-118А эти узлы выполнены под опорно-осевую подвеску, у двигателей ЭД-108А — под опорно-рамную.

Двигатели ЭД-118А и ЭД-108А созданы на базе двигателя ЭД-107А, которым был заменен двигатель ЭД-107.

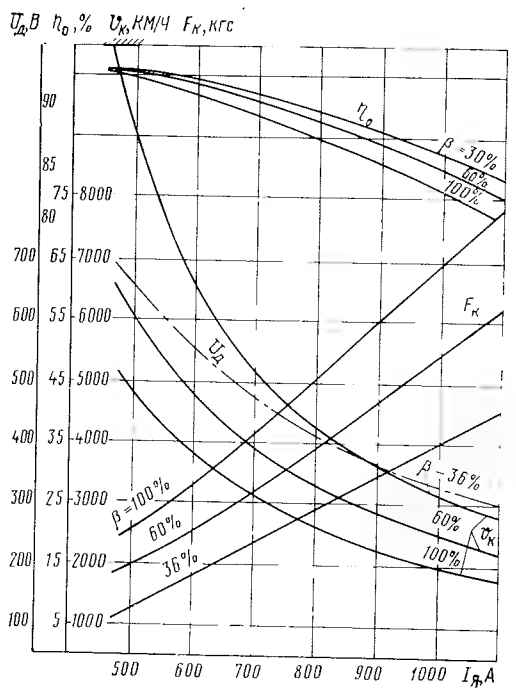


Рис. VII-57. Электромеханические характеристики тяговых двигателей ЭД-107, ЭД-107А и ЭД-118А тепловоза 2ТЭ10Л:

$U_д$ — напряжение на коллекторе; $F_к$ — касательная сила тяги на ободе колеса для одного двигателя; $v_к$ — скорость движения; η_0 — к. п. д.; $I_я$ — ток якоря; β — коэффициент возбуждения

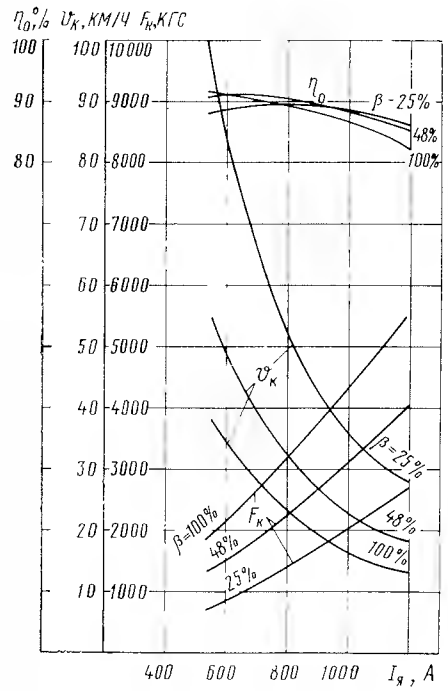


Рис. VII-56. Электромеханические характеристики тягового двигателя ЭДТ-200Б тепловоза ТЭ3:

$F_к$ — касательная сила тяги на ободе колеса для одного двигателя; $v_к$ — скорость движения; η_0 — к. п. д.; $I_я$ — ток якоря; β — коэффициент возбуждения

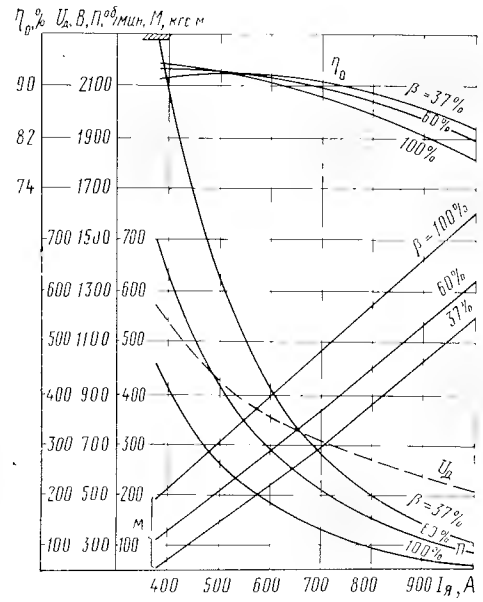


Рис. VII 58. Электромеханические характеристики тяговых двигателей ЭД-107А, ЭД-118А тепловозов М62 и М62С:

$U_д$ — напряжение на коллекторе; M — вращающий момент на валу двигателя; n — частота вращения вала; η_0 — к. п. д.; $I_я$ — ток якоря; β — коэффициент возбуждения

Таблица VII-7

Основные технические данные тяговых двигателей тепловозов

Показатели	Тяговые двигатели типов								
	ЭД-118А	ЭД-107А	ЭД-107	ЭД-108А	ЭД-108	ЭД-105А	ЭД-104А	ЭД-104	ЭДТ-200Б
Серия тепловоза	2ТЭ10Л, 2ТЭ116, М62С, ТЭМ2	2ТЭ10Л, 2ТЭ116, М62С, ТЭМ2, ТЭМ5	ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭП10, М62С, ТЭМ2	ТЭП60	ТЭП60	ТЭП60	ТЭ10, ТЭП10	ТЭ10, 2ТЭ10	ТЭ3, ТЭМ1
Год начала выпуска	1973	1970	1964	1974	1964	1961	1961	1958	1953
Коэффициент возбуждения:									
номинальная	100	100	100	100	100	100	100	100	100
минимальная	36	36	36	36	36	29,5	29,5	29,5	25
Режим работы	продолжительный								
Мощность, кВт	305	305	305	305	305	307	307	307	206
Напряжение продолжительного режима низшее, В	463	463	463	475	475	470	470	476	275
Напряжение продолжительного режима высшее, В	700	700	700	635	635	700	700	720	410
Ток при низшем напряжении, А	720	720	720	700	700	710	710	700	820
Ток кратковременный перегрузки, А	1100	1100	1100	1100	1100	—	—	—	1350
Ток при высшем напряжении, А	476	476	476	525	525	476	476	463	505
Частота вращения в продолжительном режиме, об/мин	585	585	580	610	610	600	605	605	500
Частота вращения максимальная, об/мин	2290	2290	2290	1870	1870	1870	2480	2480	2200
К. п. д., %	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,7	91,7	92,1	91,6
Передаточное отношение	4,53	4,53	4,53	2,32	2,32	2,32	4,93	4,93	4,41
Количество охлаждающего воздуха, $м^3$/мин*	80—75	80—75	75	70	70	75	75	75	53
Напор, мм вод. ст.	160	160	140	120	120	100	100	100	51
Тип подвески на тепловозе	опорно-осевая			опорно-рамная			опорно-осевая		
Масса двигателя (без передачи), кг	3100	3100	3100	3350	3350	3200	2850	2850	3370
Габаритные размеры, мм	1268×1289×827	1268×1289×837	1268×1289×837	1268×1530×857	1268×1530×857	1240×1600×795	1240×1274×824	1240×1274×795	1300×1275×815
Централь	468,8	468,8	468,8	520	520	520	468,8	468,8	468,8
Количество щеткодержателей	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Модуль	11	11	11	10	10	10	11	11	10
Количество главных полюсов	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Количество добавочных полюсов	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Воздушные зазоры									
Под серединой главного полюса, мм	7	7	7	7	7	4,5	4,5	4,5	4,5
Под краем главного полюса, мм	18	18	18	18	18	15	15	15	9
Под добавочным полюсом:									
со стороны якоря, мм	9	10	10	9	10	8	8	8	6,5
со стороны остова, мм	4	2	2	4	2	0,5	0,5	0,5	0,5
Тип подшипников:									
со стороны коллектора	80 32330	80 32330	80 32328	80 32330	80 32328	80 32328	80 32328	80 32328	80 32426
со стороны привода	80 92417	80 92417	80 92317	80 92417	80 92317	80 92317	80 92317	80 92317	80 62417
Сердечник якоря									
Диаметр внешний, мм	493	493	493	493	493	490	490	490	490
Диаметр внутренний, мм	140	140	125	140	125	120	120	120	120
Длина, мм	430	430	430	430	430	390	390	390	430
Количество пазов	54	54	54	54	54	58	58	58	50
Размер паза, мм:									
высота	50,6	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	54
ширина	11	10,5*2	10,5	11	10,5	10,5	10,5	10,5	11,3
Марка стали сердечника	Э1300	Э1300	Э13П	Э1300	Э13П	Э13П	Э13П	Э13П	Э12
Толщина листов (средних), мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Окружная скорость продолжительного режима, м/с	15,1	15,1	15,1	15,7	15,7	15,5	15,5	15,5	12,6
Окружная скорость максимальная, м/с	59	59	59	48,3	48,3	47,7	63,5	63,5	55,4
Обмотка якоря									
Тип	петлевая								
Количество проводников общее	432	432	432	432	432	464	464	464	300

Продолжение табл. VII-7

Показатели	Тяговые двигатели типоз								
	ЭД-118А	ЭД-107А	ЭД-107	ЭД-108А	ЭД-108	ЭД-105А	ЭД-104А	ЭД-104	ЭДТ-200Б
Количество проводников в пазу	8	8	8	8	8	8	8	8	6
Количество витков в секции	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Количество параллельных ветвей	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Количество коллекторных пластин на паз	4	4	4	4	4	4	4	4	3
Марка провода	ПЭТВСД	ПДА*2	ПДА	ПЭТВСД	ПДА	ПДА	ПДА	ПДА	ПДА
Размеры провода:									
неизолированного, мм	1,68×6,4	1,68×6,4	1,68×6,4	1,68×6,4	1,68×6,4	1,68×6,4	1,68×6,4	1,68×6,4	2,63×6,9
изолированного, мм	2,23×6,87	2,03×6,8	2,03×6,8	2,23×6,87	2,03×6,8	2,03×6,8	2,03×6,8	2,03×6,8	2,98×7,3
Сечение проводника, мм²	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	53,1
Плотность тока, А/мм²	5,66	5,66	5,66	5,5	5,5	5,6	5,6	5,5	3,86
Средняя длина витка, мм	1750	1750	1750	1750	1750	1670	1670	1630	1720
Класс изоляции по нагревостойкости	F	B	B	F	B	B	B	B	B
Сопротивление обмотки, Ом	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,0134	0,013	0,013	0,00532
Температура, при которой измерено сопротивление, °С	20	20	20	20	20	15	15	15	15
Шаг по пазам	1—14	1—14	1—14	1—14	1—14	1—15	1—15	1—15	1—13
» по коллектору	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2
Масса обмотки, кг	107	107	107	107	107	114	114	111	126
Уравнительные соединения									
Количество уравнительных соединений	54	54	54	54	54	58	58	58	50
Размеры провода, мм	1,68×5,1	1,68×5,1	1,68×5,1	1,68×5,1	1,68×5,1	1,68×5,1	1,68×5,1	1,68×5,1	2,63×6,9
Шаг по коллектору	1—109	1—109	1—109	1—109	1—109	1—117	1—117	1—117	1—76
Масса меди, кг	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,45	3,45	3,45	3,1
Коллектор									
Диаметр внешний, мм	400	400	400	400	400	350	350	350	400
Длина, мм	145	145	145	145	145	145	145	145	165
Количество коллекторных пластин	216	216	216	216	216	232	232	232	150
Толщина изоляции между коллекторными пластинами	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,2
Окружная скорость коллектора, м/с:									
номинальная	12,3	12,2	12,3	12,8	12,8	11,1	11,1	11,1	10,5
максимальная	48	48	48	39,2	39,2	34,2	45,4	45,4	46,2
Коллекторное деление, мм	5,82	5,82	5,82	5,82	5,82	4,74	4,74	4,74	8,4
Щеточное перекрытие, мм	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	5,28	5,28	5,28	3,0
Среднее напряжение между коллекторными пластинами, (при высшем напряжении), В.	13	13	13	12	12	12	12	12	7,33
Щеткодержатель и щетки									
Количество щеток на щеткодержателе	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Размеры щетки, мм	2(12,5×40×64)	2(12,5×40×64)	2(12,5×40×64)	2(12,5×40×64)	2(12,5×40×64)	2(12,5×40×64)	2(12,5×40×64)	2(12,5×40×64)	2(12,5×50×64)
Марка щетки*3	ЭГ-61	ЭГ-61	ЭГ-61 или ЭГ-2а	ЭГ-61	ЭГ-61 или ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-2а
Нажатие на щетку, кгс	4,2—4,5	4,2—4,5	4,2—4,5	4,2—4,5	4,2—4,5	4,2—4,5	4,2—4,5	4,2—4,5	4,9—5,5
Поверхность контакта щеток, см²	120	120	120	120	120	120	120	120	150
Плотность тока под щеткой, А/см²	12	12	12	11,7	11,7	11,85	11,85	11,7	10,9
Главные полюсы									
Толщина листа сердечника, мм	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Марка стали сердечника	Ст2	Ст2	Ст2	Ст2	Ст2	Ст2	Ст2	Ст2	Ст2
Сечение сердечника, *4 мм	184×430	184×430	184×430	184×430	184×430	184×390	184×390	184×390	172×430
Количество витков на полюс	19	19	19	19	19	19	19	18	27
Размеры провода, мм	8×25	8×25	8×25	8×25	8×25	8×25	8×25	8×25	6×25
Средняя длина витка, мм	1530	1530	1530	1530	1530	1450	1450	1450	1520
Плотность тока, А/мм²	3,61	3,61	3,61	3,52	3,52	3,56	3,56	3,52	2,73

Показатели	Тяговые двигатели типов							
	ЭД-118А	ЭД-107А	ЭД-107	ЭД-108А	ЭД-108	ЭД-105А	ЭД-104А	ЭД-104	ЭДТ-200Б
Сопротивление обмотки полюсов при 20° С, Ом	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105	0,01015	0,01015	0,00918	0, 0482
Масса обмотки, кг	206	206	206	206	206	195	195	185	194
Класс изоляции по нагревостойкости	F	F	H	F	II	II	II	II	B
Добавочные полюсы									
Сечение сердечника*4, мм	45×465	45×465	45×465	45×465	45×465	45×425	45×425	50×425	35×485
Марка стали сердечника	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	15ЛКI
Количество витков на полюсе	17	17	17	17	17	17	17	17	21
Размеры провода, мм	6,5×28	6,5×28	6,5×28	6,5×28	6,5×28	6,5×28	6,5×28	6,5×28	5,1×28
Средняя длина витка, мм	1160	1160	1160	1160	1160	1060	1060	1230	1160
Плотность тока, А/мм²	3,97	3,97	3,97	3,87	3,87	3,92	3,92	3,86	2,89
Сопротивление обмотки полюсов при 20° С, Ом	0,00812	0,00812	0,00812	0,00812	0,00812	0,00764	0,00764	0,0081	0,00302
Масса обмотки, кг	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5	116	116	135	123
Класс изоляции по нагревостойкости	F	B	B	F	F или B	B	B	B	B

* Вентиляция независимая.

*2 На части тяговых двигателей ЭД-107А, построенных в 1973 г. и 1974 г., применялся провод ПЭТВСД. Такие двигатели имеют размеры паза те же, что и двигатели ЭД-118А.

*3 При выпуске с завода на тяговых двигателях ЭД-107, а также двигателях ЭД-107А и ЭД-108 первых выпусков применялись щетки марки ЭГ-2а. В дальнейшем на тяговых двигателях всех типов будут применены щетки ЭГ-61.

*4 Размеры сечения сердечников полюсов указаны в местах установки катушек.

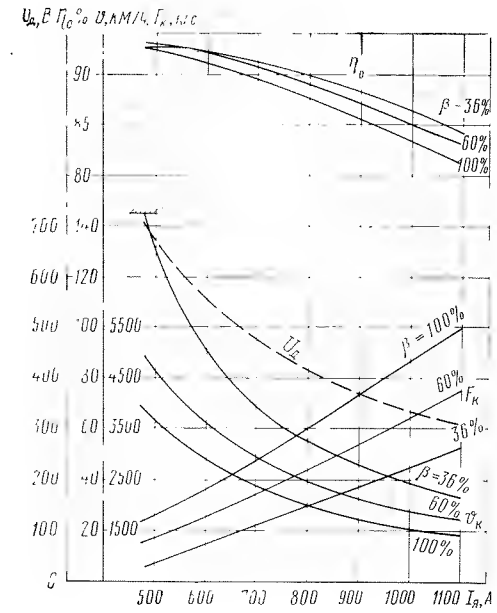


Рис. VII-59. Электромеханические характеристики тягового двигателя ЭД-107 тепловоза ТЭП10:

$U_д$ — напряжение на коллекторе; $F_к$ — касательная сила тяги на ободе колеса для одного двигателя; $v_к$ — скорость движения; η_0 — к. п. д.; $I_я$ — ток якоря; β — коэффициент возбуждения

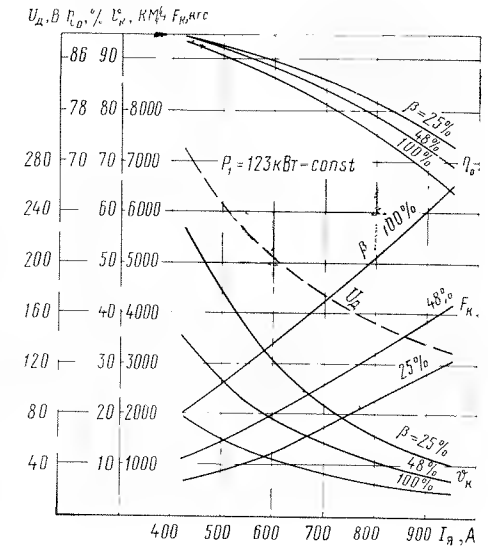


Рис. VII-61. Электромеханические характеристики тяговых двигателей ЭД-107, ЭД-107А и ЭД-118А тепловоза ТЭМ2:

$U_д$ — напряжение на коллекторе; $F_к$ — касательная сила тяги на ободе колеса для одного двигателя; $v_к$ — скорость движения; η_0 — к. п. д.; $I_я$ — ток якоря; β — коэффициент возбуждения

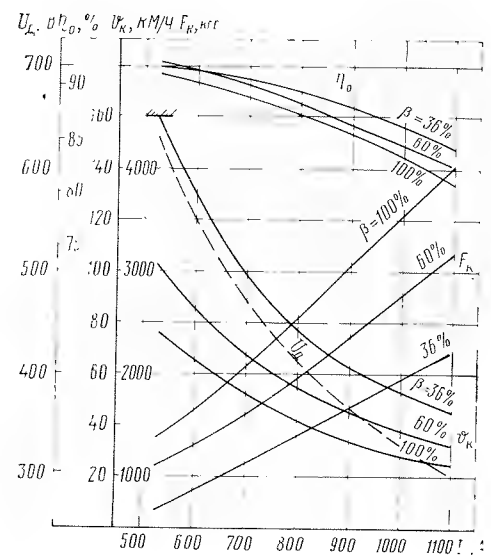


Рис. VII-60. Электромеханические характеристики тягового двигателя ЭД-108А и ЭД-108 тепловоза ТЭП60:

$U_д$ — напряжение на коллекторе; $F_к$ — касательная сила тяги на ободе колеса для одного двигателя; $v_к$ — скорость движения; η_0 — к. п. д.; $I_я$ — ток якоря; β — коэффициент возбуждения

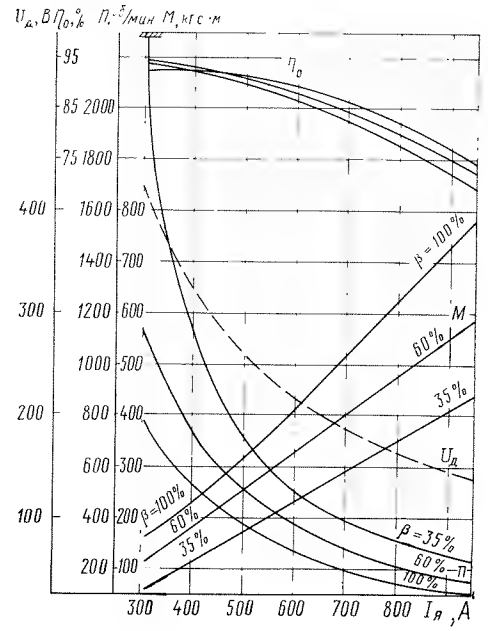


Рис. VII-62. Электромеханические характеристики тягового двигателя ЭД-107А тепловоза ТЭМ5:

$U_д$ — напряжение на коллекторе; M — вращающий момент на валу двигателя; n — частота вращения вала; η_0 — к. п. д.; $I_я$ — ток якоря; β — коэффициент возбуждения

Тяговые двигатели ЭД-118А и ЭД108А обеспечивают повышенную надежность в эксплуатации по сравнению с двигателями ЭД всех индексов, так как в их конструкцию и технологию изготовления введены улучшения: усилена изоляция обмотки якоря, для корпусной изоляции взамен микаленты применена стеклослюдинитовая лента ЛСПЭ-934. Пазовую часть якорных катушек в горячем состоянии опрессовывают в прессформах. Паз якоря дополнительно изолируют пленкостеклотканью, для чего его ширина увеличена на 0,5 мм. Пропитку якоря производят в лаке ПЭ-933 или по системе «Монолит», введено покрытие обмоток эмалью ЭП-91.

Для пайки обмотки в коллекторе применяют вибростойкий и тугоплавкий припой ПСр 2,5.

Коллектор изготовляют из легированной серебром или кадмием меди повышенной твердости и точности.

Сердечник якоря выполнен из стали Э1300. Увеличена жесткость остова. Установку щитов производят с гарантированным натягом, в конструкции щитов предусмотрены устройства для сброса излишков смазки; для смазки подшипников применена смазка ЖРО. В главных и добавочных полюсах двигателя применена изоляция «Монолит 2». Многие из числа указанных улучшений были применены на тяговых двигателях ЭД-107А.

Конструкция тяговых двигателей тепловозов показана на рис. VII-52 — VII-55, а электромеханические характеристики — на рис. VII-56 — VII-62. Основные технические данные приведены в табл. VII-6.

Таблица VII-8

Основные характеристики тяговых двигателей тепловозов серий 2ТЭ116, М62С, ТЭМ2, ТЭП10, ТЭ7, ТЭМ1

Показатели	Тяговые двигатели									
	ЭД-118А, ЭД-107А				ЭД-107			ЭДТ-200Б		ЭД-104А
	2ТЭ116, 2ТЭ10Л	М62С	ТЭМ2	ТЭМ5	ТЭП10	М62С	ТЭМ2	ТЭ7	ТЭМ1	ТЭП10
Мощность, кВт	305	192	105	112	305	192	112	206	87	307
Напряжение низшее, В	463	356	203	215	463	356	215	275	125	476
Напряжение высшее, В	691	570	290	420	700	570	290	410	280	700
Ток при низшем напряжении, А	720	595	605	605	720	595	605	820	820	710
Ток при высшем напряжении, А	482	372	424	310	476	372	450	505	400	476
Частота вращения, об/мин	585	474	250	264	580	474	264	500	210	605
Частота вращения максимальная, об/мин	2230	2290	1300	2290	2240	2290	1300	1800	1000	2240
К. п. д., %	91,5	90,5	85,3	86	91,5	90,5	86	91,6	85	90,8
Расход воздуха, $м^3$/мин	80—75	40	30	30	75	40	34	55	45	75
Напор, мм вод. ст.	160	50	25	25	140	50	25	50	40	140
Передаточное отношение	4,41	4,53	4,53	4,53	3,15	4,53	4,53	2,54	4,41	3,15
Модуль	10	11	11	11	11	11	11	—	10	11

В табл. VII-6 мощность, напряжение, ток, частота вращения, расход воздуха, напор статический, к. п. д., а также некоторые расчетные данные, производные от перечисленных, — указаны для двигателей ЭД-118А и ЭД-107А при установке их на тепловозах 2ТЭ116 и 2ТЭ10Л с передачей 4,53; для двигателей ЭД-107 — при установке их на тепловозах 2ТЭ10Л, ТЭ10; для двигателей ЭД-104А — на тепловозах ТЭ10 и 2ТЭ10; двигателей ЭДТ-200Б при установке их на тепловозах ТЭ3. При установке двигателей на других типах тепловозов их основные характеристики приведены в табл. VII-7.

На щитках тяговых двигателей независимо от типа тепловоза, на котором они устанавливаются, мощность, напряжение, ток и частоту вращения указывают в соответствии с табл. VII-8.

VIII. ТЯГОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ, СГЛАЖИВАЮЩИЕ И ПЕРЕХОДНЫЕ РЕАКТОРЫ

VIII-1. ТЯГОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Тяговые трансформаторы предназначены для понижения напряжения контактной сети до уровня рабочего напряжения тяговых двигателей, а также для регулирования последнего в процессе пуска электровоза или электропоезда переменного тока. Обычно одна из обмоток тягового трансформатора выполняется секционированной и имеет ряд промежуточных выводов, а регулирование напряжения достигается переключением этих выводов соответственно на первичной или вторичной стороне трансформатора.

На отечественных электровозах ВЛ60^к, ВЛ60^п, ВЛ80^к, ВЛ80^т, ВЛ82, ВЛ82^м, установлены тяговые трансформаторы соответственно типов ОЦР-5600/25, ОЦР-5600/25П, ОЦР-5000/25 (ОЦР-5000/25В), ОДЦЭ-5000/25Б, ОДЦЭ-4000/25 с регулированием напряжения на вторичной стороне. На электровозах ЧС4 установлен тяговый трансформатор LTS-7,85/25 с регулированием на первичной стороне. На электропоездах переменного тока ЭР9П применен трансформатор ОЦР-1000/25 с регулированием на вторичной стороне.

В обозначении типов отечественных трансформаторов буквы указывают: О — число фаз (однофазный); Ц — принудительная циркуляция масла; Д — принудительное воздушное дутье; Р — питание ртутных выпрямителей (используется также и при питании полупроводниковых выпрямителей); Э — принадлежность к электровозу. Числитель дроби означает типовую мощность трансформатора в киловольт-амперах (кВА), а знаменатель — номинальное напряжение на первичной обмотке в киловольтах (кВ).

Основные технические данные тяговых трансформаторов, применяемых на электровозах и электропоездах переменного тока приведены в табл. VIII-1, а их конструкция и габаритно-установочные размеры — на рис. VIII-1 — VIII-3.

VIII-2. РЕАКТОРЫ

Сглаживающие реакторы устанавливают на всех электровозах и электропоездах переменного тока, они предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного тока в цепи тяговых двигателей, а также в цепях вспомогательных машин постоянного тока на электровозах ЧС4. Основные технические данные сглаживающих реакторов приведены в табл. VIII-2.

Переходные реакторы предназначены для ограничения тока в переключаемых секциях секционированной обмотки тягового трансформатора в процессе регулирования напряжения тяговых двигателей. Обычно переходные реакторы применяют на электровозах и электропоездах с регулированием на вторичной стороне тягового трансформатора.

Переходные реакторы имеют следующие основные технические данные:

Электровоз	ВЛ60^к	ВЛ80^к
Тип реактора	ПРА-2	ПРА-3
Номинальное напряжение по отношению к земле, В	3100	1500
Длительный ток, А	650	1270
Индуктивное сопротивление, Ом	0,26	0,12
Масса, кг	550	572

Конструкция и габаритные размеры реакторов показаны на рис. VIII-4—VIII-9.

Таблица VIII-1

Основные технические данные тяговых трансформаторов

Показатели	Трансформаторы типа					
	ОЦР-5600/25	ОЦР-5000/25В	ОДЦЭ-5000/25Б	ОДЦЭ-4000/25	LTS-7,85/25	ОЦР-1000/25
Типовая мощность, кВА	5 600*	5 000	5 000	4 000	7 850	1 000
Номинальная мощность обмоток, кВА:						
сетевой	5 244	4 630	4 485	3 680	7 850	965
тяговой	4 942	4 300	4 220	3 620	6 860	610
собственных нужд	300	325	225	80	200	92
отопления	800	—	—	—	800	100
Напряжение холостого хода обмоток, В:						
сетевой	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000
тяговой	2 060	1 230	1 218	3 800	1 040	2 208
собственных нужд	399	625/479 396/229	638/406/232	332/240	260/213	220/257
отопления	3 027	—	—	—	3 030	628
Номинальный ток нагрузки в обмотках, А:						
сетевой	210	185	180	147	314	38
тяговой	2 400	2×1 750	2×1 750	950	3 300	350
собственных нужд	750	800	550	340	770	—
отопления	264	—	—	—	264	—
Масса трансформатора, кг:						
общая	11 300	9 000	8 000	5 800	11 600	3 700
выемной части	6 200	5 200	5 100	3 400	7 150	850
бака с арматурой	2 500	1 750	1 600	1 350	2 300	—
масла	2 600	2 050	1 300	1 050	2 200	1 045
Потери холостого хода, кВт	6,1	5,8	5,8	5,2	10,0	3,6
Габаритные размеры, мм	2 692×2 000×2 890	2 656×2 000×2 905	2 565×2 000×2 898	2 180×1 250×2 310	2 150×1 450×2 200	3 080×1 810×1 150

Примечания. 1. Трансформаторы ОЦР-5600/25П для электровозов ВЛ60п имеют обмотку отопления (выводы *а3—а4* на крышке) мощностью 800 кВА. Мощность тяговой обмотки этих трансформаторов на 800 кВА меньше.

2. Часть трансформаторов ОЦР-5600/25 выпущена с обмоткой собственных нужд 210/399 В (с промежуточным выводом на 210 В) и 630 В.

3. Для обмотки собственных нужд в числителе указано напряжение всей обмотки, а в знаменателе — напряжение отпайки (промежуточного вывода).

Таблица VIII-2

Основные технические данные сглаживающих реакторов

Показатели	Электровозы и электропоезда серии					
	ВЛ60к	ВЛ80к	ВЛ82	ЧС4 для цепей тяговых двигателей	ЧС4 для цепей вспомогательных машин	ЭР9П
Тип	РЭД-4000	РС-32	РС-33	ICLVH 7050	ALC-IV 1914/06	СР-800
Количество на электровоз	2	4	4	2	6	1
Номинальный ток, А	1545	1850	510	3×1150	150	400
Напряжение корпусной изоляции, В	3100	1500	3000	4100	1500	2000
Индуктивность одного реактора при номинальном токе, мГ	5,6	4	3,5	3×3	4	15
Масса, кг	1570	800	1180	1300	63	800

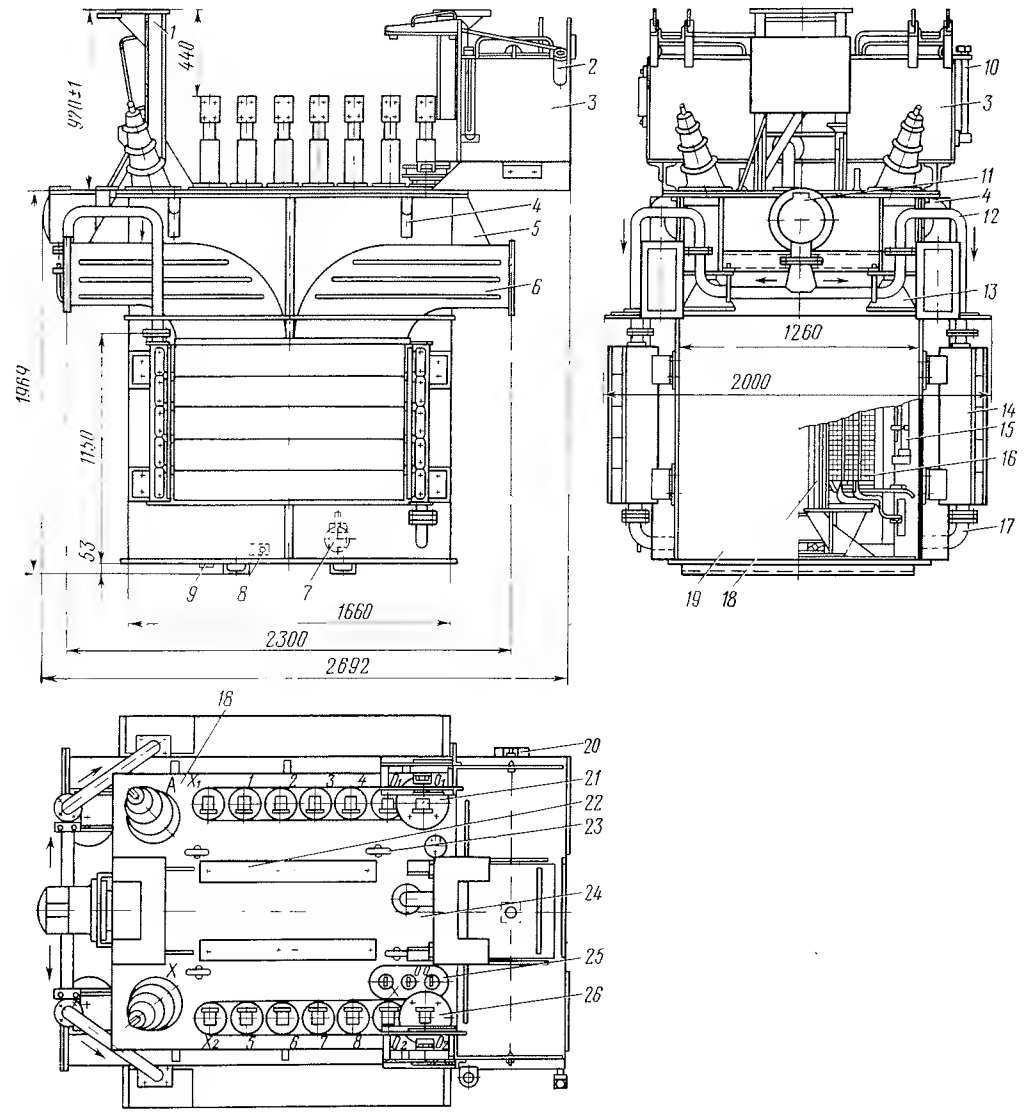


Рис. VIII-1. Трансформатор ОЦР-5600/25 электровоза ВЛ60к:

1 — стойки для группового контроллера; *2* — пробка; *3* — расширитель; *4* — крюки; *5* — кронштейн; *6* — вентиляционный канал; *7* — кран для заливки масла; *8* — отверстие для взятия пробы масла; *9* — пробка для спуска масла; *10* — маслоуказатель; *11* — электронасос ЭТЦ-63/10; *12* — маслопровод; *13* — конусообразная опора; *14* — теплообменник; *15* — отвод обмотки низкого напряжения; *16* — изоляционный цилиндр; *17* — патрубок; *18* — стержень магнитопровода; *19* — бак трансформатора; *20* — сигнализатор; *21* и *26* — трансформаторы тока ТТЗ-2; *22* — опора для переходного реактора; *23* — кольцо для подъема выемной части; *24* — крышка бака; *25* — выводы обмотки собственных нужд

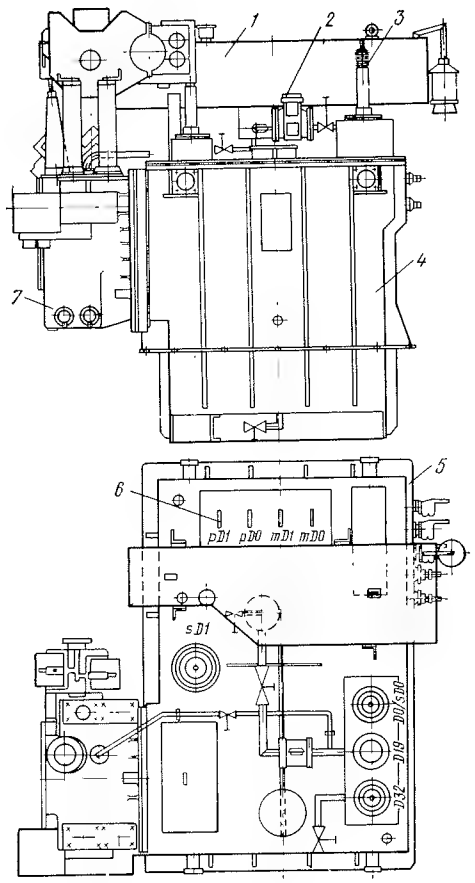


Рис. VIII-2. Трансформатор LTS-7,85/25 электровоза ЧС4:

1 — расширительный бак; *2* — реле газовой защиты; *3* — высоковольтные проходные изоляторы; *4* — бак трансформатора; *5* — опорная плита; *6* — выводы; *7* — переключатель

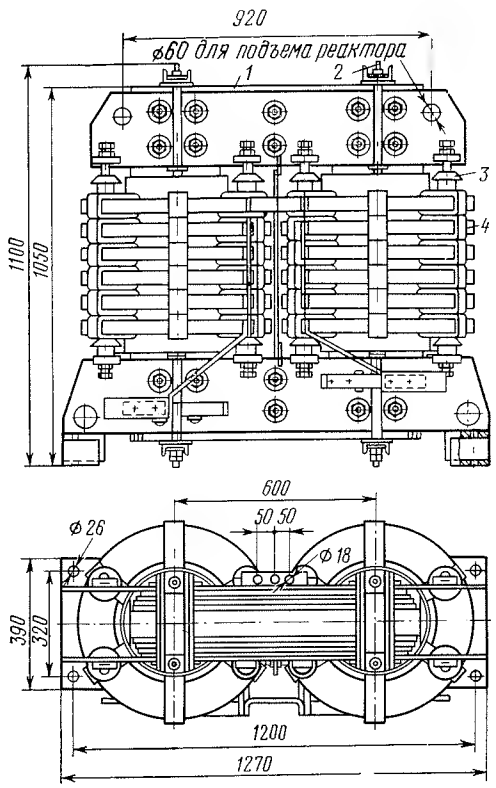


Рис. VIII-4. Сглаживающий реактор РЭД-4000 для электровоза ВЛ60к:

1 — сердечник; *2* — стяжная шпилька; *3* — изолятор; *4* — обмотка

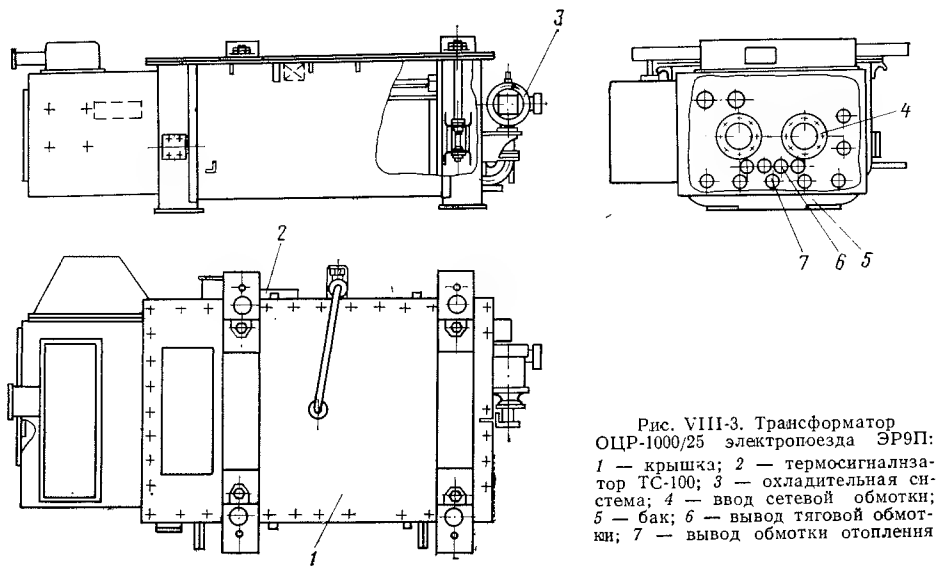


Рис. VIII-3. Трансформатор ОЦР-1000/25 электропоезда ЭР9П:

1 — крышка; *2* — термосигнализатор ТС-100; *3* — охладительная система; *4* — ввод сетевой обмотки; *5* — бак; *6* — вывод тяговой обмотки; *7* — вывод обмотки отопления

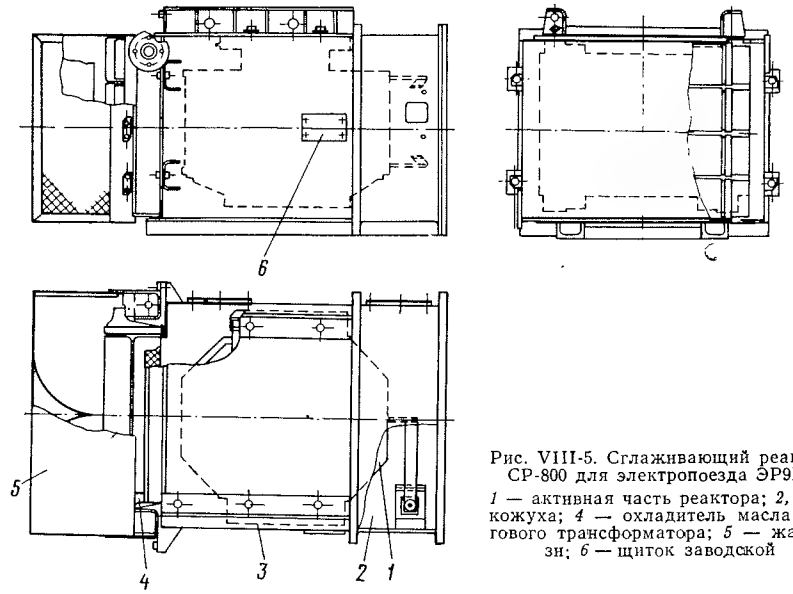


Рис. VIII-5. Сглаживающий реактор СР-800 для электропоезда ЭР9П:

1 — активная часть реактора; *2, 3* — кожуха; *4* — охладитель масла тягового трансформатора; *5* — жалюзи; *6* — щиток заводской

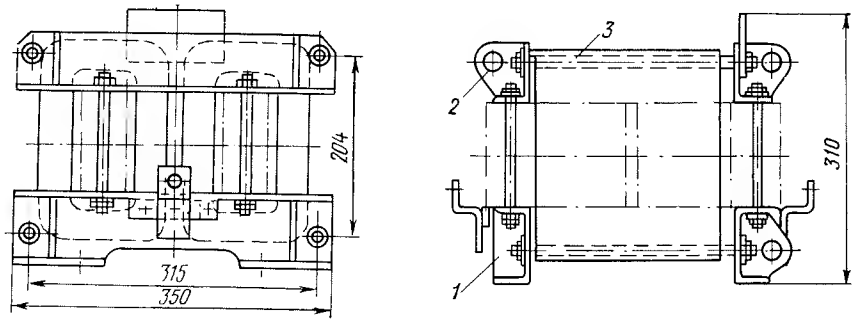


Рис. VIII-6. Сглаживающий реактор AL-CIV 1914/06 для цепей вспомогательных машин электровоза ЧС4:

1, 2 — боковины; *3* — стяжная шпилька

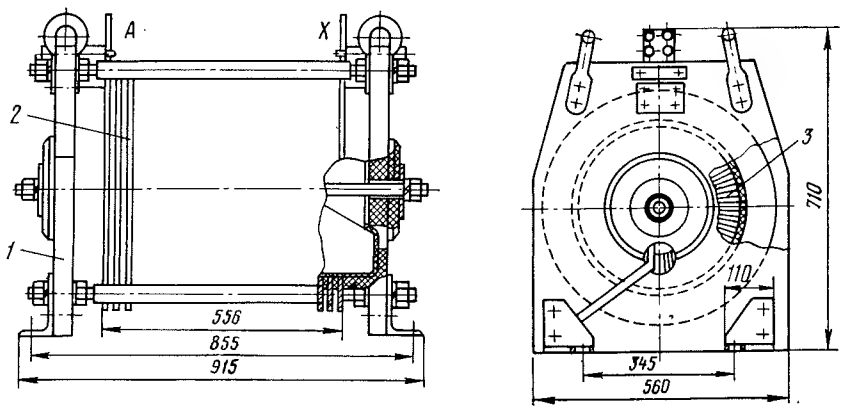


Рис. VIII-7. Сглаживающий реактор РС-32 для электровоза ВЛ80к:

1 — гетинаксовая боковина; *2* — обмотка; *3* — сердечник

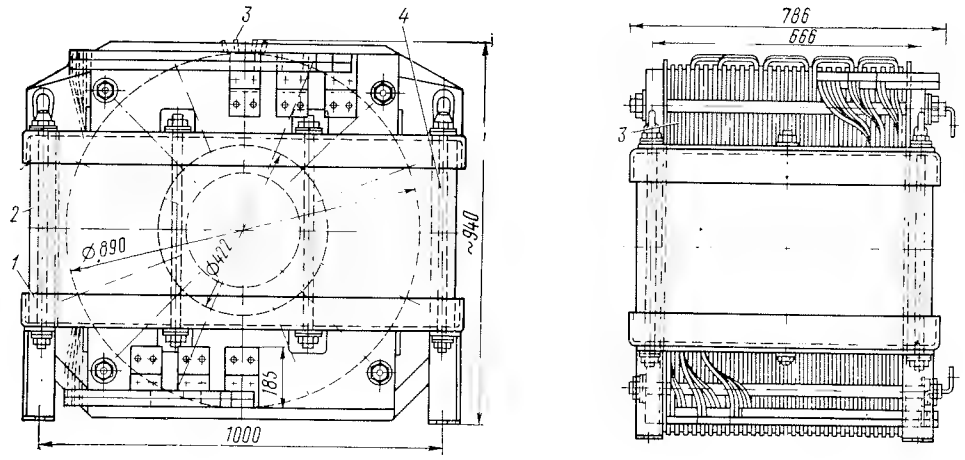


Рис. VIII-8. Сглаживающий реактор ICLVH 7050 для цепи тяговых двигателей электровоза ЧС4:
1 — каркас; *2* — шихтованный экранирующий магнитный контур; *3* — обмотка; *4* — стяжная шпилька

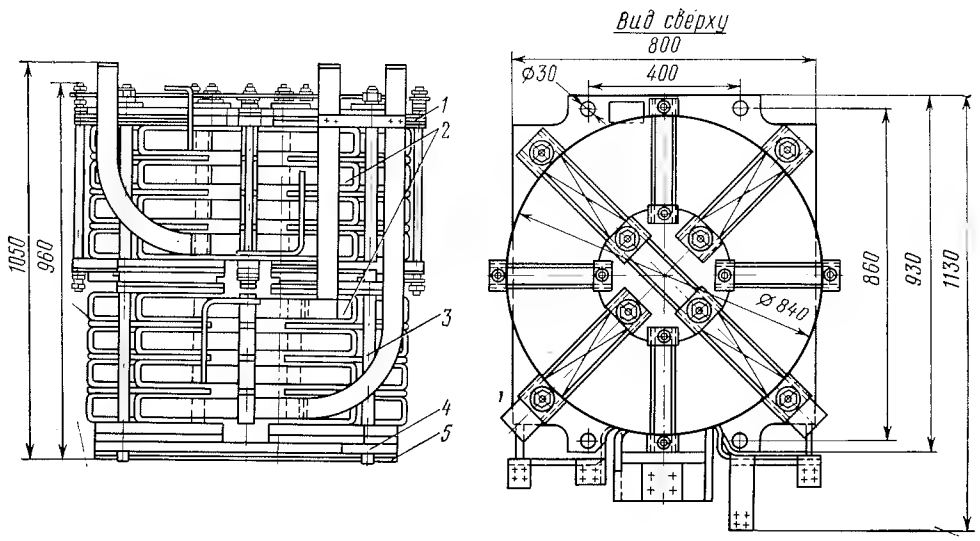


Рис. VIII-9. Переходной реактор ПРА-2 для электровоза ВЛ60к:
1, 5 — стальные экраны; *2* — дисковые катушки; *3* — стяжная шпилька; *4* — основание

IX. СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

IX-1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

В зависимости от способности выполнять различные функции в преобразователях силовые полупроводниковые вентили подразделяют на неуправляемые (диоды), которые являются пассивными элементами в электрических схемах и неспособны осуществлять функции регулирования, и управляемые (тиристоры, симисторы), которые выполняют функции управления и регулирования в силовых электрических цепях.

Неуправляемые вентили (*диоды*) — это электрические приборы с нелинейным сопротивлением силовой цепи, значение которого резко меняется при изменении направления тока (рис. IX-1). Диоды в основном применяют в нерегулируемых преобразователях переменного тока в постоянный (выпрямителях).

Тиристоры — электрические приборы с нелинейной разрывной зависимостью сопротивления главной цепи от тока в прямом направлении. При токе в обратном направлении тиристоры по своему действию подобны диодам. Для включения тиристора необходимо уменьшить сопротивление разрыва $R_р$ (рис. IX-2, *б*), изменяя ток $I_у$ в цепи управления; выключение тиристора обеспечивается только снятием положительной разности потенциалов между его силовыми электродами.

Симисторы — электрические приборы с нелинейной разрывной зависимостью сопротивления главной цепи от тока в прямом и обратном направлениях. Симистор обычно имеет два силовых электрода и один управляющий.

Силовые полупроводниковые вентили выполняют как с обычной, так и с лавинной характеристикой. Обычные вентили могут в режиме перегрузок рассеивать значительные мощности (несколько киловатт) при токе в прямом направлении. Однако при токе обратного направления даже вследствие кратковременных перегрузок они могут выйти из строя при выделившейся мощности величиной несколько ватт.

У лавинных вентилей обратный ток в процессе пробоя, хотя и нарастает лавинообразно, но остается «управляемым» и преимущественно протекает по всей площади структуры, а воспринимаемое вентилем напряжение ограничивается. Лавинные вентили по сравнению с обычными обладают следующими преимуществами: допускают значительно большую рассеиваемую мощность в обратном направлении и поэтому более устойчивы к перенапряжениям; позволяют принимать более низкий запас по обратному напряжению в сравнении с обычными вентилями (20% вместо

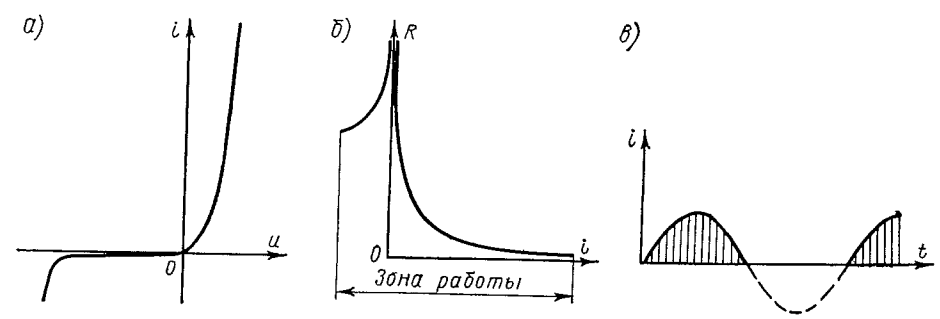


Рис. IX-1. Характеристики неуправляемого вентиля:
а — вольт-амперная характеристика; *б* — зависимость сопротивления силовой цепи от тока в ней; *в* — пример графика тока вентиля

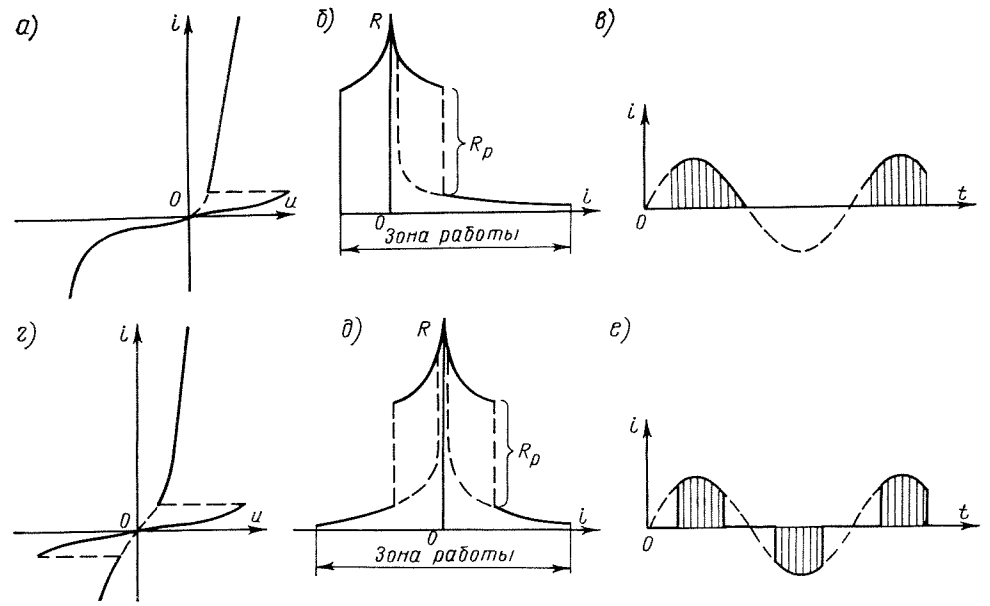


Рис. IX-2. Характеристики управляемого вентиля:
а, г — вольт-амперные характеристики; *б, д* — зависимости сопротивления силовой цепи от тока в ней; *в, е* — примеры графика тока силовой цепи вентиля

50%); при последовательном соединении лавинных вентилей отпадает необходимость в применении громоздких устройств для деления напряжения.

Для силовых полупроводниковых вентилей приняты следующие основные определения.

Анодным называют вывод вентиля, по направлению к которому течет прямой ток из внешней электрической цепи, *катодный* — это вывод, от которого прямой ток идет во внешнюю электрическую цепь, *управляющий* — вывод, через который проходит только ток управления. *Прямое направление* — от анода к катоду, при котором вентиль имеет минимальное сопротивление; *обратное направление* — от катода к аноду, при котором вентиль имеет наибольшее сопротивление.

Установившимся называют режим работы вентиля, при котором периодические колебания температуры его монокристаллической структуры имеют постоянные значения. *Неустановившийся* — режим, при котором периодические колебания температуры монокристаллической структуры вентиля не имеют постоянных значений.

Номинальный — это режим, при котором вентиль, работая в однофазной однополупериодной схеме с активной нагрузкой при частоте питающей сети 50 Гц с номинальным значением прямого тока и номинальным значением обратного напряжения, имеет номинальную температуру $\Theta_н$ монокристаллической структуры, не превышающую предельно допустимой. При этом регламентируются номинальные условия эксплуатации: наличие стандартного охладителя для каждого вентиля, вид охлаждающего агента (воздух, вода) и его температура (для воздуха +40° С, для воды +20° С), высота установки над уровнем моря (до 1200 м) и интенсивность охлаждения (для воздуха скорость $v = 10$ м/с).

Номинальными называют величины, характеризующие режим работы вентиля, при котором он полностью вырабатывает свой срок службы с предельной нагрузкой.

IX-2. СИЛОВЫЕ ДИОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ Э.П.С.

Обозначения. В соответствии со стандартом (ГОСТ 10662—73) неуправляемые силовые кремниевые вентили (диоды) обозначаются В и ВЛ (до 1969 г. применяли обозначения ВК2, ВКД, ВКДЛ). Обозначения расшифровываются следующим образом: В — вентиль, Л — лавинный (К — кремниевый), 2 или Д — диффузионное исполнение электронно-дырочного перехода. В настоящее время находятся в эксплуатации на э.п.с. вентили ВК2, ВК2В (ГОСТ 10662—63) (по ГОСТ 10662—69 обозначаются В, ВВ), ВКД, ВКДВ (МРТУ 16.529.131—68); вентили лавинные ВКДЛ (МРТУ 16.529.131—68), ВЛ, ВЛВ (МРТУ 16.529.110—68).

Например, вентиль с воздушным охлаждением первого конструктивного исполнения, на предельный ток 200 А обратной полярности, повторяющееся напряжение 800 В, с прямым падением напряжения от 1,6 до 1,65 В, исполнения У, категории размещения 2 имеет обозначение

В200Х-8-1,60-1,65У2 ГОСТ 10662—73.

Лавинный вентиль ВЛ с воздушным охлаждением на предельный ток 200 А, обратной полярности, повторяющееся напряжение 1200 В, с прямым падением напряжения 0,58 В, исполнения У, категории размещения 2, имеет обозначение

ВЛ200Х-12-0,58У2 ГОСТ 10662—73.

Характеристики вентилей. Характеристики являются измеряемыми (или определяемыми) величинами, описывающими электрические, механические, тепловые и другие свойства диодов и тиристоров при определенных условиях. Их подразделяют на паспортные (основные) и проектные (дополнительные).

Паспортные характеристики вентилей позволяют по ограниченному количеству фиксированных значений параметров определить соответствие данного вентиля ГОСТу или ТУ, сравнить его с аналогичными изделиями и т. д. Эти параметры обычно определяют в конкретных, условно заданных режимах работы, в том числе в номинальном режиме. Обычно паспортные характеристики дают в виде таблиц или перечня номинальных данных, основные из которых заносятся в паспорт вентиля.

Проектные характеристики позволяют определить зависимость различных параметров вентилей во всем диапазоне их изменения от величины, длительности и характера нагрузки с учетом схем преобразования, условий окружающей среды, интенсивности охлаждения и т. д. Эти характеристики дают возможность выбрать наиболее целесообразную нагрузку вентилей в различных режимах работы и условиях эксплуатации. Проектные характеристики представляются в виде различных графических и аналитических зависимостей.

Базовой электрической характеристикой вентиля — так называемой *вольт-амперной характеристикой*, определяющей его основные параметры, является зависимость падения напряжения на вентиле $u_в$ от тока $i_в$ (в мгновенных значениях) при определенной температуре структуры. Различают три типа вольт-амперной характеристики: статическую, динамическую и классификационную. Статическая характеристика снимается на постоянном токе, динамическая — на переменном в мгновенных значениях напряжения и тока; ее можно наблюдать на экране электронно-лучевого осциллографа. Классификационная характеристика (рис. IX-3) снимается на однополупериодном переменном токе частотой 50 Гц: прямая ветвь ее соответствует пропусканию через вентиль синусоидального тока, при этом фиксируются приборами магнитоэлектрической системы средние за период значения тока и напряжения; обратная ветвь — приложению к вентилю синусоидального напряжения, при этом фиксируются среднее за период значение тока и амплитудное значение напряжения. Из классификационной вольт-амперной характеристики (см. рис. IX-3) определяют номинальные (паспортные) параметры вентиля: номинальный ток $I_{ном}$, номинальное классификационное напряжение $U_{ном}$ ($U_{кл}$), прямое падение напряжения вентиля $\Delta U_{ном}$ и др.

Номинальный ток вентиля — среднее за период значение выпрямленного тока частотой 50 Гц, синусоидальной формы, протекающего через вентиль при его работе в однофазной однополупериодной схеме выпрямления на активную нагрузку и угле проводимости 180°, при номинальных для данного вентиля условиях охлаждения. ГОСТ 10662—73 установлена шкала токов: 10, 25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000 А.

Номинальное (классификационное) напряжение вентиля — максимально допустимое мгновенное значение напряжения, длительно прикладываемого к вентилю в обратном направлении в номинальном режиме работы, при котором обеспечивается его заданная надежность, исключающая повторяющиеся и неповторяющиеся напряжения.

Максимальное обратное напряжение $U_{ном}$ (напряжение загиба $U_{заг}$ или напряжение лавинообразования $U_{лав}$ для лавинных вентилей) соответствует точке или области загиба обратной ветви вольт-амперной характеристики вентиля, когда при небольшом приращении напряжения резко увеличивается обратный ток. Величина классификационного обратного напряжения для диодов серии В принимается равной 50% $U_{заг}$ при температуре 140° С,

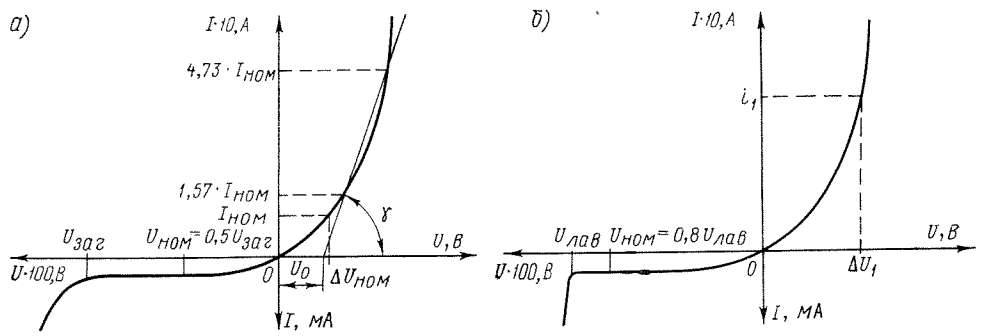


Рис. IX-3. Классификационная вольт-амперная характеристика диода:
а — обычного; *б* — лавинного

а для диодов серии ВЛ равной 80% $U_{лав}$ при температуре 25 ± 10° С. Стандартом ГОСТ 10662—69 предусмотрена шкала номинальных (классификационных) напряжений: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200В. Величина $U_{ном}/100$ принята для обозначения класса вентиля.

Прямое падение напряжения — среднее за период значение напряжения на вентиле при прохождении через него номинального тока и температуре окружающей среды + 25° С. По величине $\Delta U_{ном}$ вентили разделяют на группы; стандартом ГОСТ 10662—69 предусмотрены следующие группы: А — номинальное прямое падение до 0,5В; Б — свыше 0,5 до 0,6 В; В — свыше 0,6 до 0,7 В; Г — свыше 0,7 до 0,8 В; Д — свыше 0,8 до 0,9 В; Е — свыше 0,9 до 1,0 В. По ГОСТ 14069—72 после обозначения класса вместо буквенного обозначения групп указывается величина прямого падения напряжения.

Обратный ток $I_{обр}$ — среднее за период значение тока, протекающего через вентиль при приложении к нему номинального обратного напряжения. Из аппроксимированной прямой ветви вольт-амперной характеристики определяют такие параметры как пороговое напряжение U_0 и усредненное динамическое сопротивление $R_д$.

Пороговое напряжение U_0 — величина численно равная отрезку от начала координат вольт-амперной характеристики до точки пересечения оси абсцисс с линией усредненного динамического сопротивления (см. рис. IX-3). *Усредненное динамическое сопротивление* — величина численно равная котангенсу угла γ между осью абсцисс вольт-амперной характеристики и линией усредненного динамического сопротивления, проходящей через две точки на этой характеристике с координатами $I_1 = 1{,}57I_{ном}$ и $I_2 = 4{,}73I_{ном}$. Параметры U_0 и $R_д$ необходимы для определения потерь мощности в вентиле.

К проектным характеристикам относятся следующие.

Установившееся тепловое сопротивление вентиля $R_{вент}$ (в °С/Вт) — превышение температуры структуры над температурой основания корпуса, отнесенное к рассеиваемой в вентиле мощности в установившемся режиме.

Переходное тепловое сопротивление вентиля r — превышение температуры электронно-дырочного перехода за время воздействия импульса мощности над температурой основания корпуса вентиля, отнесенное к рассеиваемой в импульсе мощности.

Ток технологической (рабочей) перегрузки $I_{техн}$ — ток перегрузки из режима с током, меньшим номинального, при длительном воздействии вызывающий превышение максимально допустимой температуры структуры, но ограниченный во времени так, что превышения этой температуры не происходит.

Ток аварийной перегрузки $I_{ав}$ — ток, протекание которого вызывает превышение максимально допустимой температуры электронно-дырочного перехода, но воздействие которого предполагается лишь ограниченное число раз за срок службы вентиля как результат необычных условий работы схемы (например, аварийных).

Ударный ток $I_{удар}$ — величина единовременного допустимого синусоидального тока в течение одного полупериода (10 мс) при единовременно допустимой температуре монокристаллической структуры.

Амплитуда повторяющегося обратного напряжения $U_{повт}$ — наибольшее мгновенное значение обратного напряжения на вентиле, с учетом всех повторяющихся переходных напряжений (исключая неповторяющиеся переходные напряжения). Повторяющееся напряжение обычно определяется схемой преобразователя (например, выбросы при восстановлении обратного напряжения на вентиле после коммутации) и увеличивает мощность, рассеиваемую на вентиле.

Амплитуда неповторяющегося обратного напряжения $U_{неповт}$ — наибольшее мгновенное значение любого неповторяющегося переходного напряжения, прикладываемого к вентилю в обратном направлении. Неповторяющееся переходное напряжение обычно определяется внешней по отношению к преобразователю причиной (например, грозовые или внутренние перенапряжения в питающей сети переменного тока); предполагается, что его влия-

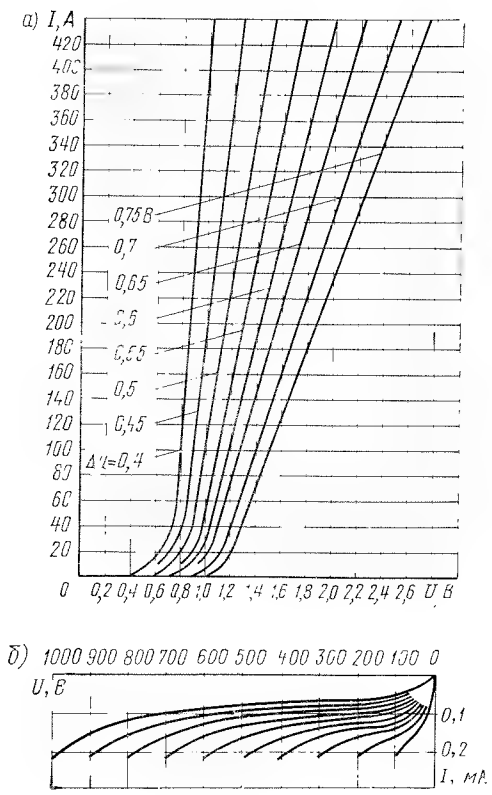


Рис. IX-4. Прямые (*а*) и обратные (*б*) ветви вольт-амперных характеристик силовых диодов ВК2-50

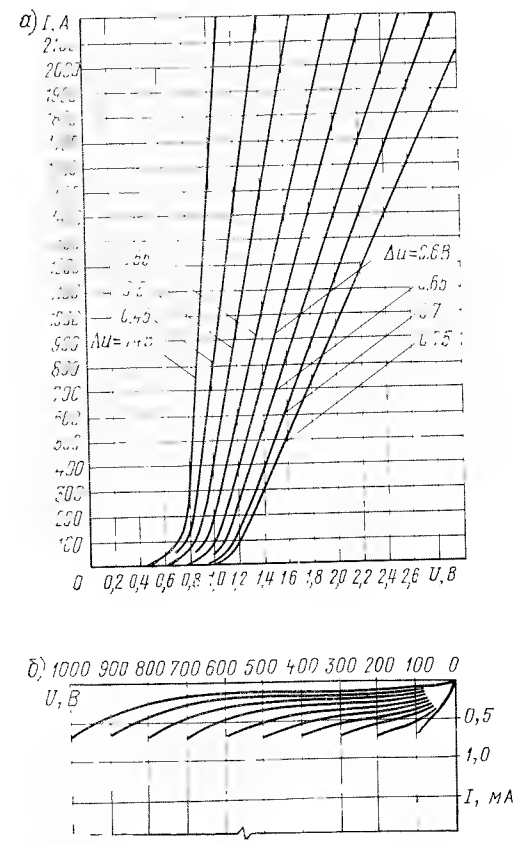
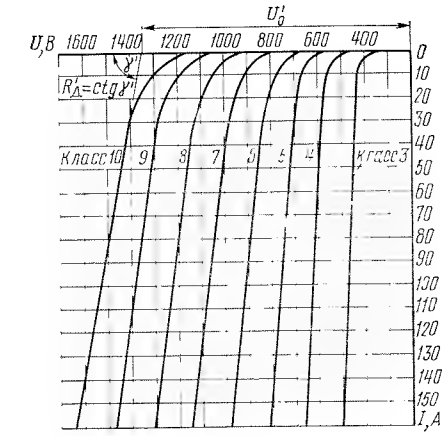


Рис. IX-5. Прямые (*а*) ветви вольт-амперных характеристик силовых диодов ВК2-200, ВКДЛ-200, ВК2В-350 и обратные (*б*) диодов ВК2-200, ВК2В-350



Параметры обратной ветви вольт-амперной характеристики	Напряжение класса $U_{кл}$, В							
	300	400	500	600	700	800	900	1000
$U_{лав}$, В	375	500	625	750	875	1000	1125	1250
U_0', В	430	565	680	810	940	1110	1200	1330
$R_д'$, Ом	0,5	0,75	1,05	1,4	1,6	1,85	2,2	2,5

Рис. IX-6. Обратные ветви вольт-амперных характеристик лавинных диодов ВКДЛ-2000 классов 3—10

ние полностью исчезает перед следующим прикладываемым извне напряжением.

Интенсивность отказов λ — количество отказов в единицу времени, отнесенное к числу вентилей, работавших к началу рассматриваемого промежутка времени.

Параметры вентилей В (ВК), ВЛ (ВКДЛ), необходимые для выбора нагрузок на них, определения допустимых перегрузок, обеспечения защиты и т. д. приведены в табл. IX-1, а характеристики показаны на рис. IX-4 — IX-7.

Конструкция вентилей. Конструкция вентиля типа В-200 (ВКД-200), ВЛ-200 на номинальный ток 200 А пояснена рис. IX-8. Наряду с диодами обычного и лавинного исполнения выпускаются также и диоды специальные: высокочастотные серии ВЧ, кремниевые симметричные ограничители напряжения КСОН-5, КСОН-10 и мощные диоды таблеточного исполнения В2-320, В-500, В-800.

Высокочастотные вентили ВЧ (ТУ 16-529.104-68, каталог 05.03.53—69) предназначены для работы в цепях переменного тока в диапазоне частот от 50 Гц до 100 кГц. Технологической особенностью вентилей является диффузия золота в структуру *p-n*-перехода, уменьшающая время жизни дырок в *n*-базе и время восстановления запирающей способности, что позволяет снизить на порядок коммутационные перенапряжения и значительно уменьшить параметры защитных цепочек *RC*.

Основные технические данные диодов ВЧ следующие:

Тип диода	ВЧ-100	ВЧ-160	ВЧ-200
Номинальное напряжение, В	50, 100, 200,	300, 400,	500, 600
Номинальный ток, А	100	160	200
Прямое падение напряжения, В, не более	1,2	0,85	0,7
Обратный ток, мА, не более	20	20	20
Ударный ток, А	1500	2000	2500
Величина $\int i^2dt$, А²	11000	20000	31500

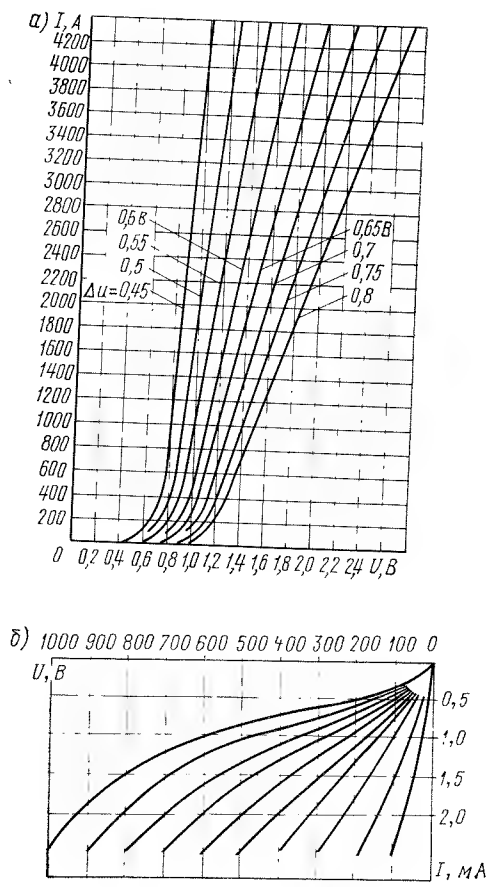


Рис. IX-7. Прямые (*а*) и обратные (*б*) ветви вольт-амперных характеристик силовых диодов ВК2-500, ВК2В-750

Диоды ВЧ имеют массу 1 кг с охладителем и 0,46 кг без него; габаритные размеры составляют соответственно 80×70×329 и ∅46×246.

Кремниевые симметричные ограничители напряжения КСОН (ТУ16-521.044-70) предназначены для защиты управляемых и неуправляемых вентилей от коммутационных перенапряжений, а также в качестве разрядников в электротехнической аппаратуре при частотах до 500 Гц.

Ограничители типа КСОН-5 и КСОН2-5 выполняют на номинальное напряжение от 400 до 2000 В (через 100 В). Максимально допустимая энергия импульса нагрузки 5 Дж. Ток утечки до 1 мА. Температурный коэффициент напряжения до 0,15° С. Габаритные размеры КСОН-5 и КСОН2-5 с охладителем составляют соответственно 125×92×63 и 80×75×78,6, а без охладителя соответственно ∅40×19,3 и ∅39,5×54,2. Масса КСОН-5 и КСОН2-5 составляет соответственно 0,7 и 0,4 кг, а без охладителя — соответственно 0,13 и 0,2 кг.

Ограничители типа КСОН-10 и КСОН2-10 выпускают на номинальное напряжение от 1000 до 2000В (через 100 В, классы 10 ÷ ÷ 20). Максимально допустимая энергия импульса нагрузки 10 Дж. Ток утечки до 1,0А. Температурный коэффициент напряжения до 0,15% на 1° С. Габаритные размеры и масса у КСОН-10 такие же, как у КСОН-5, а у КСОН2-10 — как у КСОН2-5.

Мощные вентили таблеточного исполнения В2-320, В-500 и В-800 (ТУ16-529.668—71) с нелавинными характеристиками предназначены для работы в статических электропреобразовательных установках и преобразователях электроподвижного состава. Основные технические данные таблеточных вентилей В2-320, В-500 и В-800 следующие: номинальный выпрямленный ток соответственно 320, 500 и 800 А при скорости охлаждающего воздуха 12 м/с и температуре окружающей среды θ до 40° С; рабочий интервал температур от —50° С до +40° С; максимально допустимая температура структуры 140° С; амплитудное значение номинального напряжения 100—2400 В (для В-800 от 100 до 1000 В); среднее значение прямого падения напряжения до 0,9В для В2-320 и до 1,0 В для В-500 и В-800; среднее значение обратного тока не более 10 мА. Габаритные размеры для В2-320 126×150×200 мм, а для В-500 и В-800 — 150×174×240 мм. Масса вентиля В2-320 с охладителем и без охладителя равна соответственно 0,15 и 3,8 кг, а вентилей В-500 и В-800 — соответственно 0,32 и 7,0 кг.

Таблеточные вентили отличаются от вентилей других типов значительно большими номинальным током, ударным током, токовой циклоустойчивостью.

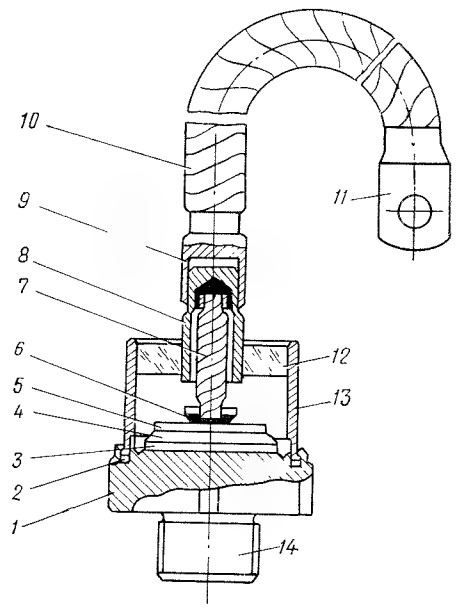


Рис. IX-8. Схема конструкции диода В-200 (ВК2-200, ВКДЛ-200):

1 — основание; *2* — фторопластовое уплотнительное кольцо; *3, 5* — термокомпенсирующие вольфрамовые пластины; *4* — вентильный элемент; *6* — чашечка; *7* — гибкий контакт; *8* — стальная втулка; *9* — внешняя втулка; *10* — гибкий вывод; *11* — наконечник; *12* — изолятор; *13* — металлическая крышка; *14* — шпилька

Таблица IX-1

Основные параметры силовых кремниевых неуправляемых вентилей

Тип вентиля	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Номинальный обратный ток, мА	Прямое падение напряжения, В	Неповторяющееся напряжение, В	Повторяющееся напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В	Группы вентилей	Установившееся тепловое сопротивление, не более °С/Вт: без охладителя $R_{вент}$	Установившееся тепловое сопротивление, не более °С/Вт: с охладителем $R = R_{вент} + R_{охл}$	Мощность потерь в обратном направлении (при длительности импульса 100 мкс) кВт	Тип охладителя, с которым применяется вентиль	Скорость охлаждающего воздуха, м/с	Масса, кг: без охладителя	Масса, кг: с охладителем
В-10 (ВК2-10, ВКД-10) ВЛ-10	10	100—2500	2	до 0,60	175—4375	150—3750	—	А, Б	1,5	6,7	—	МП-50	0	0,04	0,13
		300—1500	1		—	—	500—2000				6				
В-25 (ВК2-25, ВКД-25) ВЛ-25	25	100—2500	3	до 0,60	175—4375	150—3750	—	А, Б	1,0	2,2	—	МП-100	3	0,08	0,22
		300—1500	2		—	—	500—2000				8				
В-50 (ВК2-50, ВКД-50) ВЛ-50	50	100—2500	5	до 0,60	175—4375	150—3750	—	А, Б	0,6	1,0	—	М-4 (А-4)	6	0,19	1,2 (0,53)
		300—1500	3		—	—	500—2000				22				
В-200 (ВК2-200, ВКД-200) ВЛ-200	200	100—2500	10	до 0,70	175—4375	150—3750	—	А, Б, В	0,15	0,33	—	М-6 (А-7)	12	0,51	2,41 (1,25)
	—	300—1500	5	до 0,75	—	—	500—2000				34				
В-320 (ВК2-350) ВЛ-320	320 (350)	100—2500	15		175—4375	150—3750	—	Б, В, Г	0,12	0,225	—	М-10 (А-10)	12	1,0	4,65 (2,23)
	320	300—1500	5		—	—	500—2000				34				

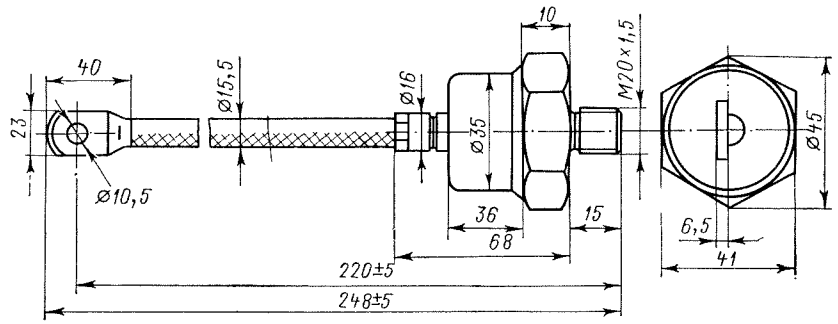


Рис. IX-9. Габаритные и установочные размеры силовых диодов типов В-200, ВКД-200, ВК2-200, ВКДЛ-200

Таблеточная конструкция корпуса обеспечивает одностороннее интенсивное охлаждение, прижимные контактные соединения элементов обусловливают высокие удельные показатели по проходящей мощности, высокие ударные токи, высокую циклоустойчивость.

Конструкция вентилей обеспечивает их применение при естественном и принудительном охлаждении в условиях:

температуры охлаждающего воздуха — минус 50 ÷ +40° С;

относительной влажности воздуха 98% при температуре 35° С;

длительных вибраций в диапазоне частот от 5 до 80 Гц с ускорением до 7,5 *g*;

высоты над уровнем моря не более 1200 м;

многократных изменений температуры окружающей среды и многократных циклических токовых нагрузок.

Габаритные и установочные размеры вентилей различных типов приведены на рис. IX-9 и IX-10.

Охладители. Для серийно выпускаемых вентилей В, ВЛ, имеющих основание со шпилькой, применяют охладители следующих серий: МП — медные пластинчатые для воздушного охлаждения; М — медные, ребристые для воздушного охлаждения; МВ — медные для водяного охлаждения; А — алюминиевые (из алюминиевых сплавов) ребристые для воздушного охлаждения.

Конструктивно охладители МП представляют собой медные пластины, к которым с помощью болтового соединения крепят вентили. Охладители четырех-, шести- и десятиреберные М-4, М-6, М-10 изготовляют из меди; четырех-, семи - и десятиреберные А-4, А-7, А-10 — из легких алюминиевых сплавов. Ребристые охладители имеют развитую поверхность охлаждения, обеспечивающую эффективный теплоотвод. Вентили соединяются с охладителями с помощью резьбового соединения. Контактные поверхности медных охладителей в местах крепления вентилей имеют гальванические защитные покрытия; остальная поверхность охладителей — еще и антикоррозионную полимерную защиту (эмаль). В преобразователях охладители

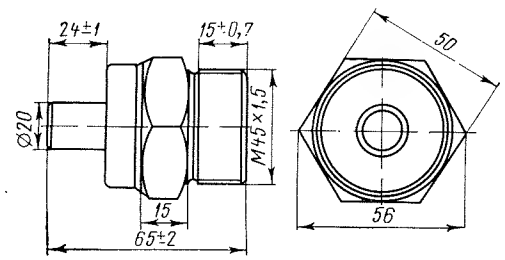


Рис. IX-10. Габаритные и установочные размеры силового диода ВК2-500

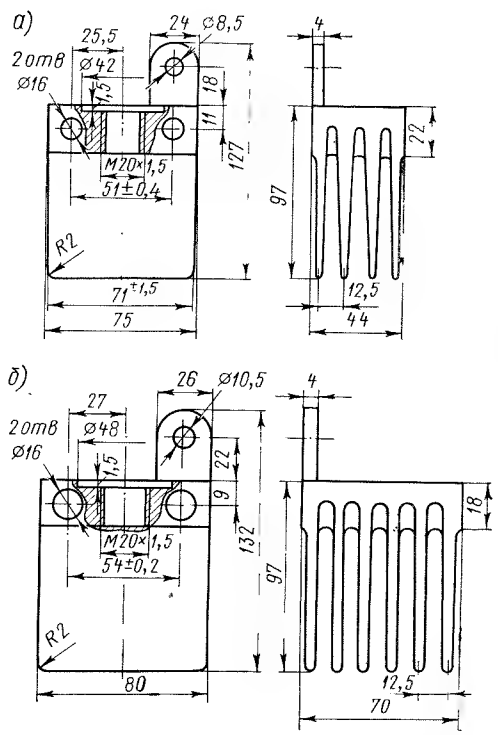


Рис. IX-11. Габаритные и установочные размеры охладителей М-4 (*а*) и М-6 (*б*)

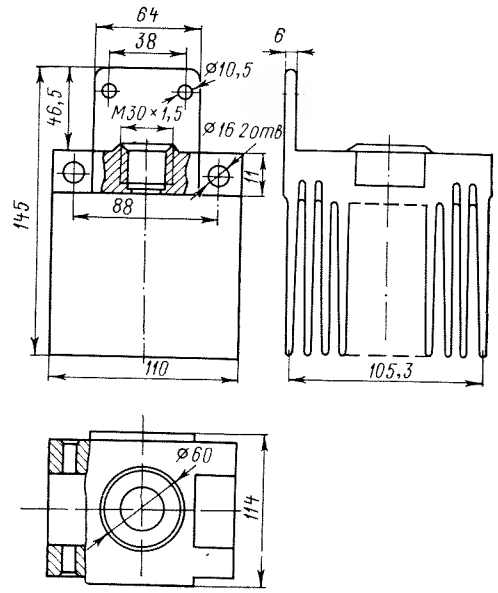


Рис. IX-12. Габаритные и установочные размеры охладителя М-10

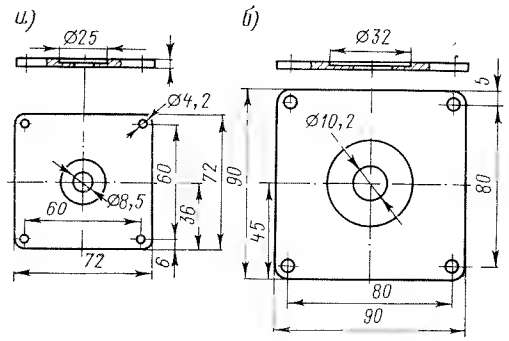


Рис. IX-13. Габаритные и установочные размеры охладителей МП-50 (*а*) и МП-100 (*б*)

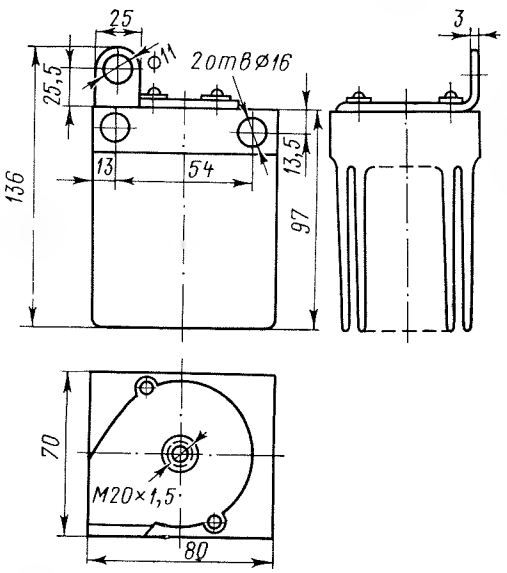


Рис. IX-14. Габаритные и установочные размеры охладителя А-7

крепят обычно двумя шпильками (изолированными), для которых в охладителях предусмотрены отверстия диаметром 12 или 16 мм.

Охладители МВ-1 и МВ-2 применяют для водяного охлаждения вентилей ВВ, ВЛВ большой мощности. Они состоят из массивной медной рубашки с развитой внутренней поверхностью охлаждения и двух патрубков для присоединения гибких дюритовых шлангов, предназначенных для отвода охлаждающей жидкости. Вентили соединяют с охладителями с помощью резьбового соединения, а сами охладители обычно крепят прямо на токоведущих шинах, используя болтовое соединение. Для обеспечения электрического и теплового контактов необходимо, чтобы контактировало не менее 95% поверхности вентиля и охладителя. Эти поверхности должны быть тщательно обработаны, не иметь выступов, заусенцев, вмятин и других неровностей. Рекомендуется между соприкасающимися поверхностями устанавливать прокладки из мягких металлов или наносить на них кремнийорганическую смазку ЦИАТИМ-221 (ГОСТ 9433—60), а для завинчивания вентилей в охладители применять моментные ключи, обеспечивающие контактное нажатие примерно 50 кгс/см² по всей поверхности соединения.

Технические данные охладителей приведены в табл. IX-2, габаритные и установочные размеры — на рис. IX-11—IX-15, а вентилей вместе с охладителями — на рис. IX-16—IX-18.

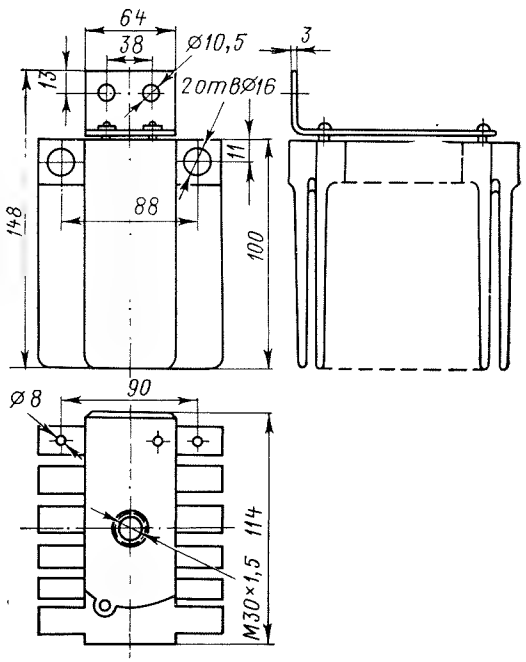


Рис. IX-15. Габаритные и установочные размеры охладителя А-10

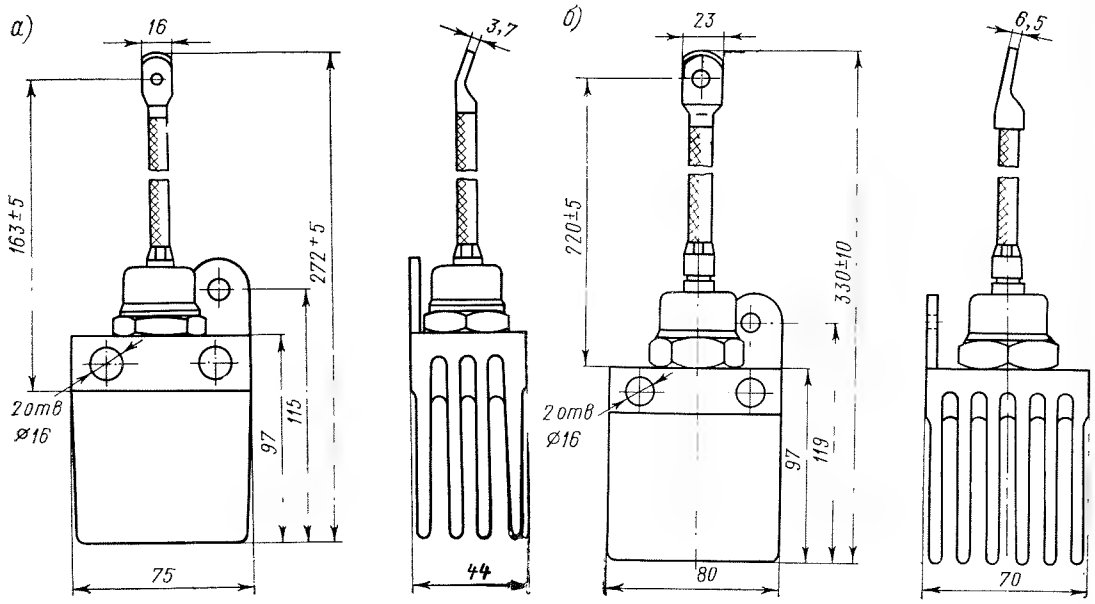


Рис. IX-16. Габаритные и установочные размеры силового диода ВКД-50 с охладителем М-4 (*а*) и ВКД-200 с охладителем М-6 (*б*)

Таблица IX-2

Основные технические данные охладителей

Тип охладителя	Материал охладителя	Установившееся тепловое сопротивление охладителя $R_{охл}$, °С/Вт при охлаждении		Максимальная мощность $P_{охл}$, рассеиваемая охладителем, при $\Theta_{корп} = 60°$ С ($U = U_{ном}$), Вт	Тип вентиля, с которым применяется охладитель	Активная площадь охлаждения $S_{охл}$, см²	Закручивающий момент M, кгс·м
		воздушном ($U = U_{ном}$)	естественном				
МП-50,	Медь М-1 (ГОСТ	5,2	5,2	15	В-10, ВЛ-10	108	1
МП-100	495—50)	1,2	4,2	50	В-25, ВЛ-25, Т-25	166	
М-4	Медь М-3	0,4	1,2	150	В-50, ВЛ-50	650	4
М-6	(ГОСТ 859—66)	0,18	1,0	330	В-200, ВЛ-200, Т-50, Т-100, Т-150, Т-160	720	
М-10		0,115	0,6	570	В-320, ВЛ-320, Т-250, ТЛ-250	1170	5
А-4	Алюминий	0,32	1,75	190	В-50, ВЛ-50	620	4
А-7	АЛ-9в (ГОСТ 2685—63)	0,18	1,2	330	В-200, ВЛ-200, Т-50, Т-100, Т-150, ТЛ-160	840	
	материал пластин—медь М-1	0,12	0,55	500	В-320, ВЛ-320, Т-250	1950	5

Примечание. $\Theta_{корп}$ — температура корпуса вентиля.

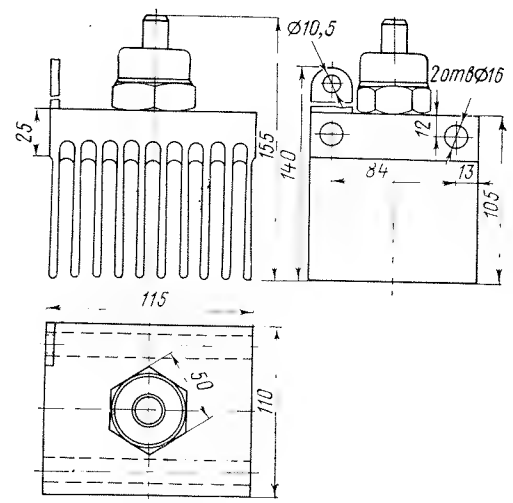


Рис. IX-17. Габаритные и установочные размеры силового диода ВК2-500 с охладителем М-10

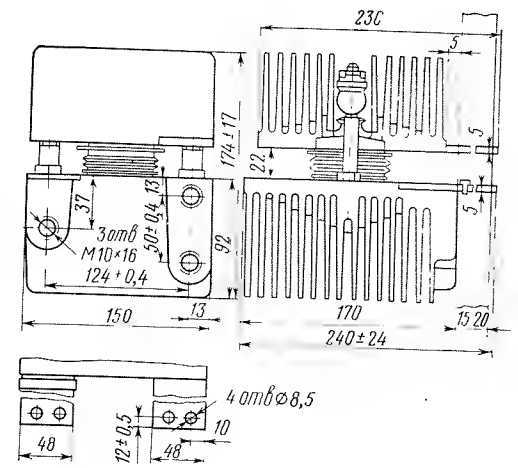


Рис. IX-18. Габаритные и установочные размеры силовых диодов таблеточного исполнения В-500, В-800 с двусторонним охладителем

IX-3. СИЛОВЫЕ ТИРИСТОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ Э. П. С.

Основу тиристоров составляет кремниевая четырехслойная монокристаллическая структура с тремя *p-n*-переходами и одним управляющим выводом, при подаче на который тока управления тиристор переводится из закрытого состояния в открытое в прямом направлении. Тиристор обладает двумя устойчивыми состояниями в прямом направлении и запирающими свойствами в обратном. Тиристоры выпускаются в обычном и лавинном исполнении.

Обозначения. В соответствии с ГОСТ 14069—68 обычные тиристоры обозначаются Т и ТВ (до 1969 г. обозначались ВКДУ, ВКДУВ). Эти обозначения расшифровываются: Т — тиристор; ТВ — тиристор с водным охлаждением (В — вентиль; К — кремниевый; Д — диффузионный; У — управляемый; В — водяное охлаждение). В настоящее время находятся в эксплуатации тиристоры: ВКДУ, ВКДУВ (МРТУ 16.549.130—68); Т, ТВ (ГОСТ 14069—68); лавинные тиристоры ТЛ, ТЛВ (МРТУ 16.529.072—67). Пример условного обозначения по ГОСТ 14069—68:

тиристор на номинальный ток 100 А, номинальное напряжение 800 В, с прямым падением напряжения 0,75 В и временем выключения 40 мкс

Т100-8-Б-II ГОСТ 14069—68.

Пример условного обозначения тиристора по ГОСТ 14069—72:

Т200Х-12-332-1,7-1,8 ГОСТ 14069—72,

где Т — тиристор; 200 — предельный ток, А; Х — обратной полярности; 12 — класс по напряжению; 332 — соответственно группы по $\left(\frac{du}{dt}\right)_{кр}$, $t_{выкл}$, $\left(\frac{di}{dt}\right)_{кр}$; 1,7—1,8 — разброс по прямому падению напряжения, В.

Параметры и характеристики тиристоров. Основные параметры тиристора определяются его вольт-амперной характеристикой.

Из классификационной вольт-амперной характеристики (рис. IX-19) определяют номинальные (паспортные) параметры ти-

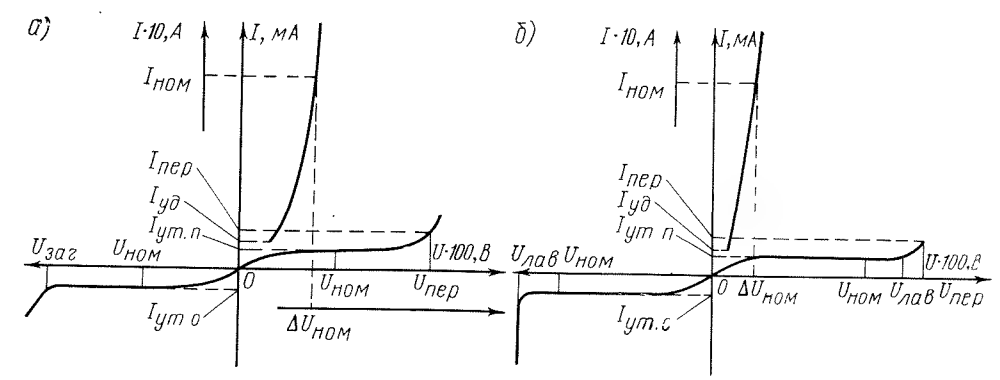


Рис. IX-19. Вольт-амперная характеристика обычного силового тиристора Т-150 (ВКДУ-150) (*а*) и лавинного (*б*)

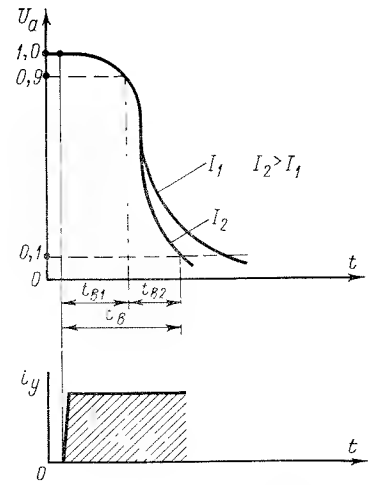


Рис. IX-20. Зависимости, характеризующие процесс включения тиристора:

I — прямой ток после включения силовой цепи; $t_{в1}$ — время задержки; $t_{в2}$ — время нарастания; $t_в$ — время включения

ристора, те же, что и для диода. Стандартом ГОСТ 14069—68 предусмотрена шкала напряжений тиристоров 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 и соответственно классы тиристоров 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10, а также группы А, Б, В, Г с номинальным падением напряжения соответственно до 0,65 В, свыше 0,65 до 0,75 В, свыше 0,75 до 0,85 В, свыше 0,85 до 1,40 В. В отличие от силовых диодов тиристоры дополнительно обладают следующими характеристиками.

Максимальное напряжение переключения $U_{пер}$ — это прямое напряжение, при котором тиристор переходит из закрытого состояния в открытое при разомкнутой цепи управляющего электрода.

Ток утечки в прямом $I_{ут.пр}$ и обратном

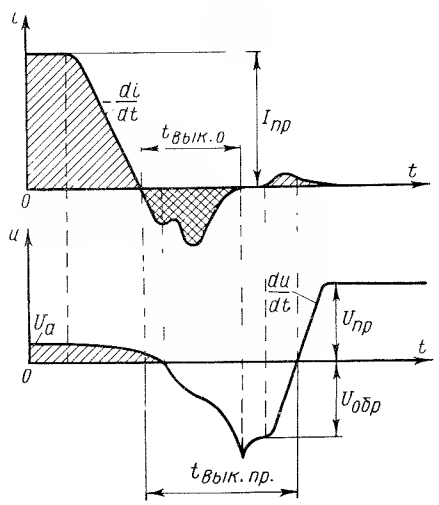


Рис. IX-21. Зависимости, характеризующие процесс выключения тиристора:

i — ток в силовой цепи; $t_{выk\,0}$ — время восстановления в обратном направлении; $t_{выk.\,пр}$ — время восстановления в прямом направлении

$I_{ут.обр}$ направлениях — среднее значение тока через тиристор с разомкнутым управляющим электродом в состоянии низкой проводимости при приложении к нему соответственно прямого или обратного напряжения, равного номинальному.

Время включения $t_{вкл}$ — время от момента подачи управляющего импульса до момента снижения анодного напряжения на тиристоре до 10% от начального значения при работе тиристора на активную нагрузку (рис. IX-20).

Время выключения $t_{выкл}$ — время от момента, когда прямой ток через тиристор, снижаясь, достигает нулевого значения, до момента, когда тиристор способен выдерживать прикладываемое в прямом направлении напряжение определенной амплитуды и скорости нарастания (рис. IX-21).

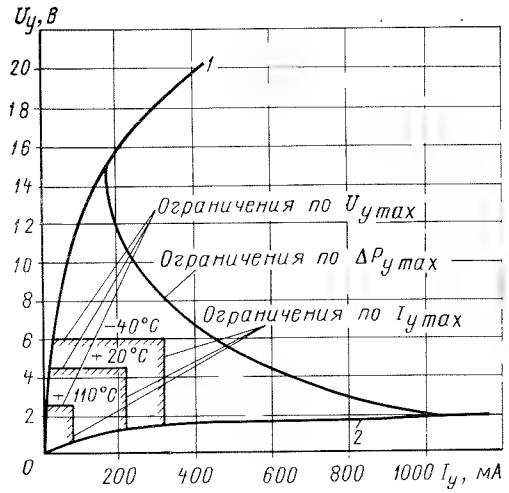


Рис. IX-22. Диаграмма управления тиристора Т-150 (ВКДУ-150):

1 и *2* — граничные вольт-амперные характеристики цепи управления тиристора

Критическая величина скорости нарастания прямого тока через тиристор $\left(\frac{di}{dt}\right)_{кр}$ — максимальная допустимая скорость нарастания прямого тока через тиристор, не вызывающая необратимые процессы в *p-n-p-n*-структуре и связанного с ними ухудшения электрических параметров тиристора.

Критическая величина скорости нарастания прямого напряжения $\left(\frac{du}{dt}\right)_{кр}$ — максимальная скорость нарастания прямого напряжения при росте напряжения от нуля до 0,67 повторяющегося, при которой не происходит переключения тиристора из закрытого состояния в открытое при разомкнутой цепи управления.

Ток удержания $I_{уд}$ — минимальный прямой ток через тиристор при разомкнутой цепи управляющего вывода, при котором тиристор находится в открытом состоянии.

Важнейшими для тиристора являются *характеристики* его *цепи управления*. Величины, характеризующие цепь управления, принято представлять в виде диаграммы управления (рис. IX-22). Диаграмма управления ограничена характеристиками максимально допустимых значений напряжения $U_{у\,max}$ тока $I_{у\,max}$ на управляющем электроде, а также мощности потерь $\Delta P_{у\,max}$, выделяемых в структуре при протекании тока управления. Для тиристора ВКДУ-150 при температурах —40, +20 и +110° С верхние граничные значения составляют соответственно 6 В и 320 мА; 4,5 В и 220 мА; 2,5 В и 80 мА. Нижние граничные значения составляют 0,2 и 0,75 В при температурах соответственно +100 и —40° С.

Максимально допустимые значения напряжения, тока и мощности для тиристора ВКДУ-150 при длительности импульсов 100 мкс и частоте 50 Гц составляют 40 В, 10 А и 250 Вт.

Основные параметры тиристоров серии Т (ВКДУ) приведены в табл. IX-3, а вольт-амперные характеристики и диаграммы управления — на рис. IX-23 и IX-24.

Конструкция. Вентильный элемент тиристора Т (ВКДУ) отличается от вентильного элемента диода наличием молибденовой пластины *4* (рис. IX-25) и внутрен-

Таблица IX-3

Основные параметры тиристоров

Тип тиристора	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Номинальное напряжение $U_{ном}$, В	Номинальный обратный ток $I_{обр}$, мА	Прямое падение напряжения ΔU, В	Установившееся тепловое сопротивление не более, °С/Вт		Время включения $t_{вкл}$, мкс
					без охладителя $R_{вент}$	с охладителем $R = R_{вент} + R_{охл}$	
Т-25 (ВКДУ-25)	25	50—1000	10	До 1,0	1,5	2,3	до 20
Т-50 (ВКДУ-50)	50		10	До 0,85 (до 0,75)	0,8	1,1	
Т-100 (ВКДУ-100)	100		10	До 0,85 (до 0,75)	0,2	0,38	
Т-150 (ВКДУ-150)	150		15	До 0,75 (до 0,70)	0,2	0,38	
ТЛ-160	160	400—1000	10	До 0,9	0,2	0,38	20
ТЛ-250	250		10	До 0,8	0,15	0,26	20

Продолжение

Тип тиристора	Скорость нарастания прямого тока di/dt, А/мкс	Скорость нарастания прямого напряжения du/dt, В/мкс	Параметры цепи управления при 25° С		Мощность в обратном направлении (длительность 100 мс), кВт	Тип охладителя, с которым применяется тиристор	Скорость охлаждающего воздуха $v_{ном}$, м/с	Масса, кг	
			ток $I_у$, А	напряжение $U_у$, В				без охладителя $G_{вент}$	с охладителем G
Т-25 (ВКДУ-25)	10	20	0,3	5	—	МП-100	6	0,12	0,26
Т-50 (ВКДУ-50)	10	20	0,3	5,5	—	М-6 (А-7)	6	0,19	2,09 (0,93)
Т-100 (ВКДУ-100)	10	20	0,3	5	—	М-6 (А-7)	12	0,45	2,35 (1,19)
Т-150 (ВКДУ-150)	10	20	0,3	5	—	М-6 (А-7)	12	0,45	2,35 (1,19)
ТЛ-160	20	100	0,4	6	26	М-6 (А-7)	12	0,45	2,35 (1,19)
ТЛ-250	20	100	0,4	6	30	М-10 (А-10)	12	0,85	4,5 (2,1)

Примечание. Время выключения для тиристоров типов ТЛ-160, ТЛ-25 составляет 20 мкс, а для тиристоров остальных типов (Т) определяется группой: для I группы до 25 мкс, II группы — от 25 до 70 мкс, III группы — от 70 до 200 мкс, IV группы — более 200 мкс.

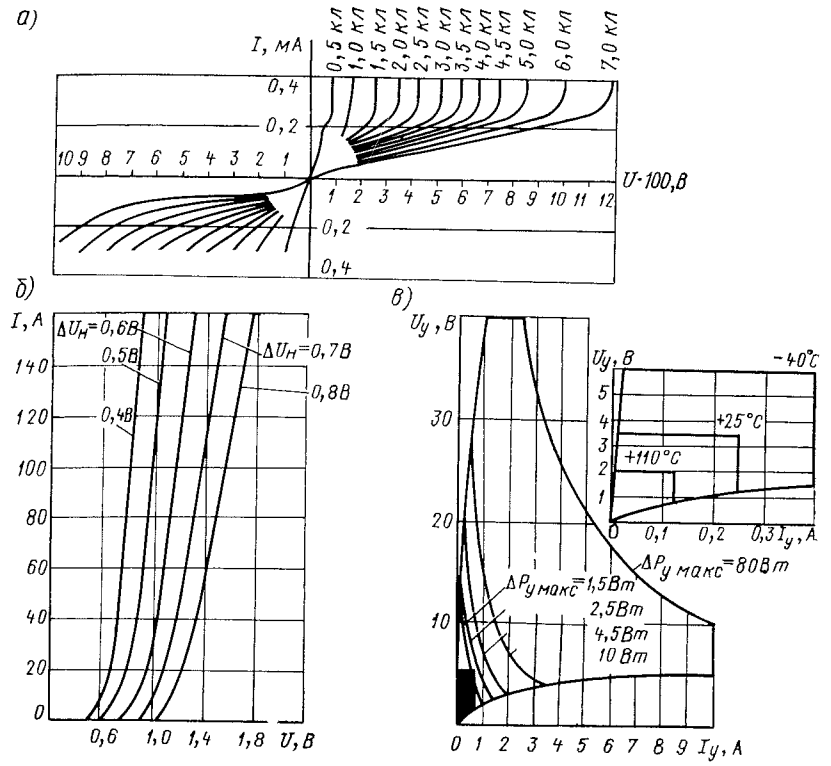


Рис. IX-23. Вольт-амперные характеристики в области малых токов (*а*), их прямые ветви (*б*) и диаграмма управления (*в*) тиристора Т-50 (ВКДУ-50) для разных классов (0,5 кл — 7,0 кл).

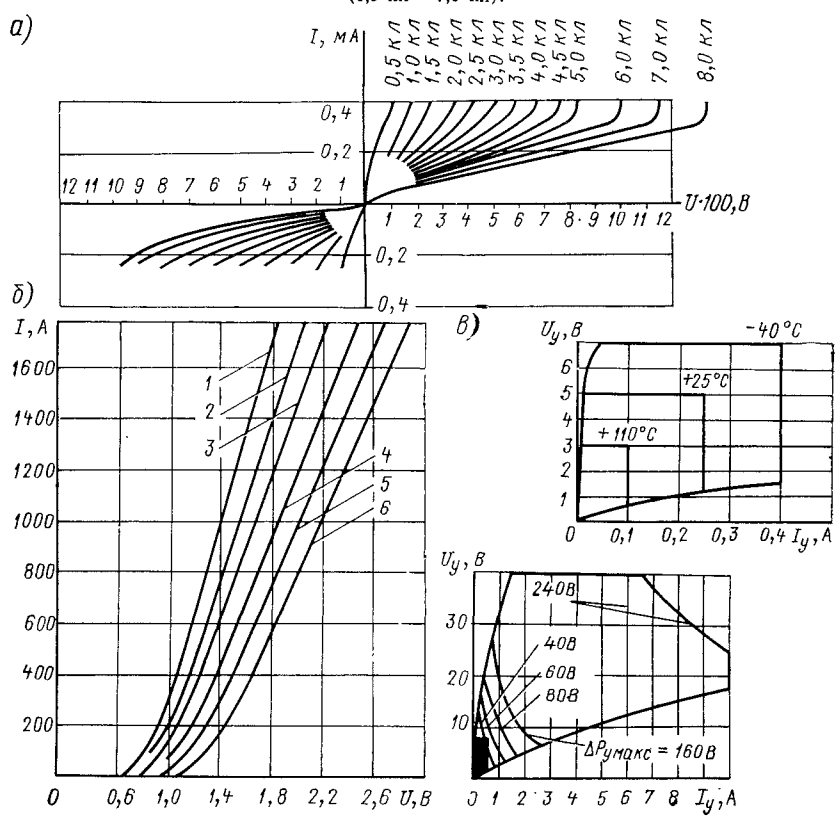


Рис. IX-24. Вольт-амперные характеристики в области малых токов (*а*), их прямые ветви (*б*) и диаграмма управления (*в*) тиристора Т-150 (ВКДУ-150)

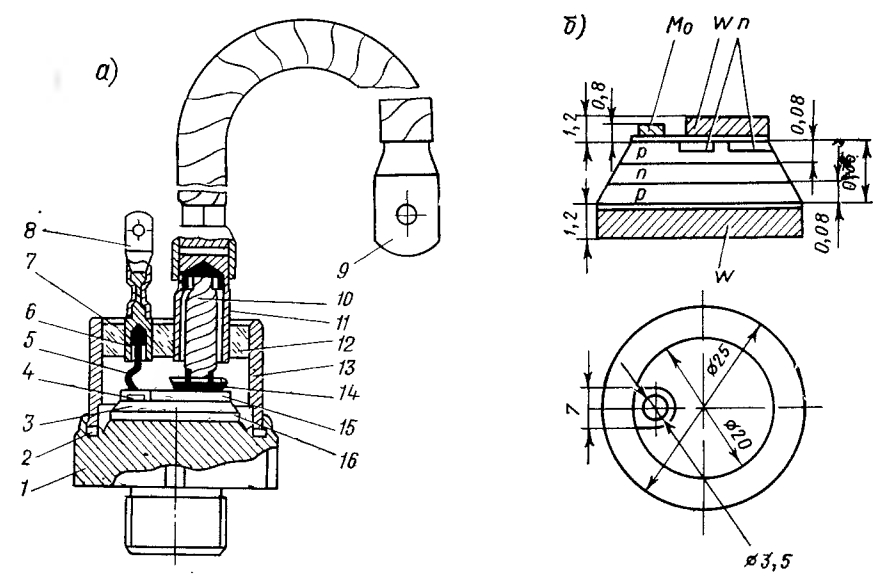


Рис. IX-25. Схема конструкции силового тиристора типа Т-150 (ВКДУ-150):
а — тиристор; *б* — вентильный элемент тиристора; *1* — основание; *2* — фторопластовая прокладка; *3, 4, 15, 16* — детали вентильного элемента; *5* — внутренний вывод управляющего электрода; *6* и *11* — втулки; *10* — внутренний гибкий вывод; *8* — наконечник управляющего электрода; *9* — внешний гибкий вывод; *12* и *13* — металлостеклянная крышка; *14* — чашечка

него вывода управляющего электрода *5*, выполненного из тонкой медной проволоки.

Анодом тиристора является основание со шпилькой, а катодом — внешний гибкий вывод с наконечником. Основание корпуса имеет шпильку с резьбой для соединения с охладителем.

Тиристор эксплуатируется с охладителем М-6 или А-7.

Габаритные и установочные размеры тиристоров серии Т (ВКДУ) приведены на рис. IX-26 — IX-27, а тиристоров вместе с охладителями — на рис. IX-28 — IX-30.

Тиристоры лавинные серии ТЛ, ТЛВ (МРТУ 16.529—072—67) предназначены для применения в статических преобразователях электроэнергии, а также в цепях постоянного и переменного тока частотой до 500 Гц силовых установок.

Нормальная работа тиристоров обеспечивается при температуре окружающего воздуха от —50 до +40° С или охлаждающей воды от +5 до +30° С, относительной влажности до 95% (при 35° С), на высоте не более 1200 м над уровнем моря, допускаются вибрации в диапазоне частот от 5 до 80 Гц, с ускорением 7,5 *g* и многократные удары с ускорением 12 *g*.

Буквы в обозначении тиристоров расшифровываются следующим образом: Т — тиристор, Л — лавинный, В — с водяным охлаждением. Пример обозначения тиристора на номинальный ток 200 А, номинальное напряжение 1000 В, с прямым падением напряжения 0,75 В и временем выключения 40 мкс — ТЛ-200-10-Б-II.

Основу тиристоров серии ТЛ составляет многослойная монокристаллическая *p-n-p-n*-структура с управляющим выводом, заключенная в неразборный герметичный корпус. Конструкция тиристора ТЛ-200 и его габаритно-установочные размеры показаны на рис. IX-31. Анодом является медное основание корпуса.

Лавинные тиристоры в отличие от обычных обладают способностью выдерживать значительные перегрузки по напряжению в обратном направлении и бо́льшие скорости нарастания прямого тока и прямого напряжения, а также повышенной термостабильностью параметров. Эти тиристоры допускают переключение анодным напряжением (без импульса управления) в аварийных режимах в пределах допустимой мощности.

Класс и номинальное напряжение тиристоров серии ТЛ определяются наименьшим из напряжений лавинообразования в прямом и обратном направлениях (табл. IX-4).

Таблица IX-4

Характеристика тиристоров серии ТЛ разных классов

Класс тиристора	Номинальное напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В
3	300	360—479
4	400	480—599
5	500	600—719
6	600	720—839
7	700	840—959
8	800	960—1079
9	900	1080—1199
10	1000	1200—1319

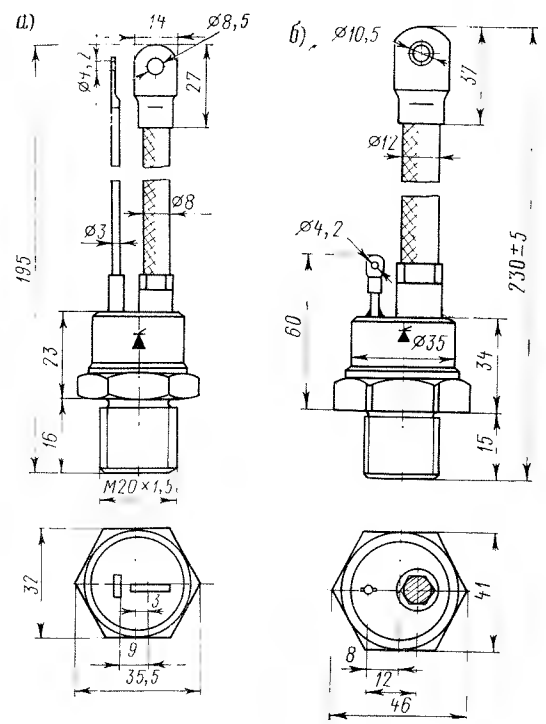


Рис. IX-26. Габаритные и установочные размеры тиристоров:
а — Т-50 (ВКДУ-50); *б* — Т-100 (ВКДУ-100), Т-150 (ВКДУ-150) и ТВ-200 (ВКДУВ-200)

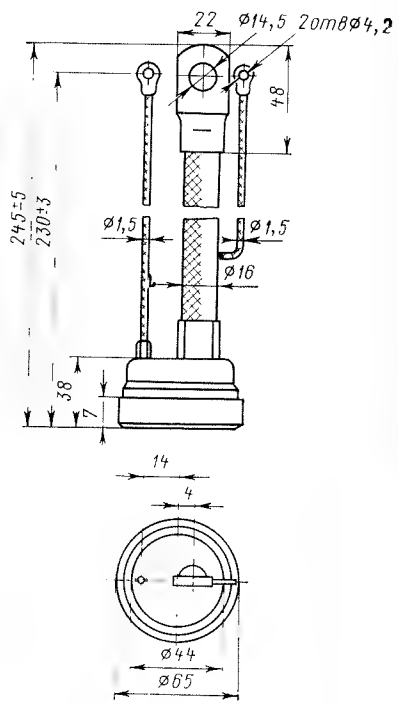


Рис. IX-27. Габаритные и установочные размеры тиристора Т-300 (ВКДУ-300)

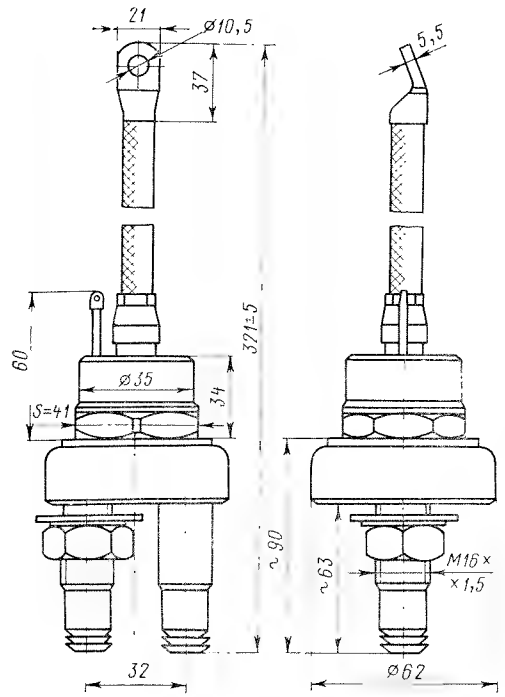


Рис. IX-29. Габаритные и установочные размеры тиристора ТВ-200 (ВКДУВ-200) с охладителем МВ-1

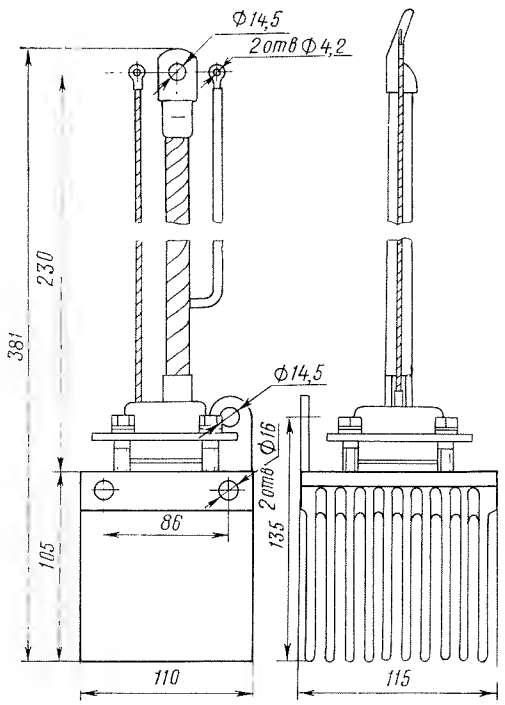


Рис. IX-30. Габаритные и установочные размеры тиристора Т-300 (ВКДУ-300) с охладителем М-10

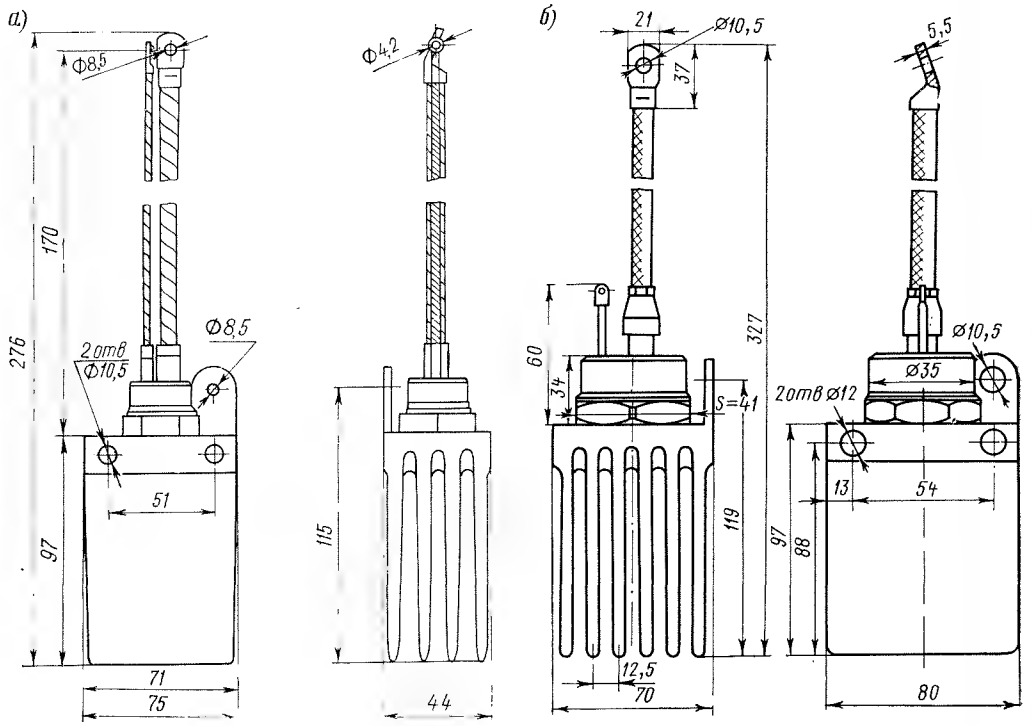


Рис. IX-28. Габаритные и установочные размеры тиристоров:
а — Т-50 (ВКДУ-50) с охладителем М-4; *б* — Т-150 (ВКДУ-150) с охладителем М-6

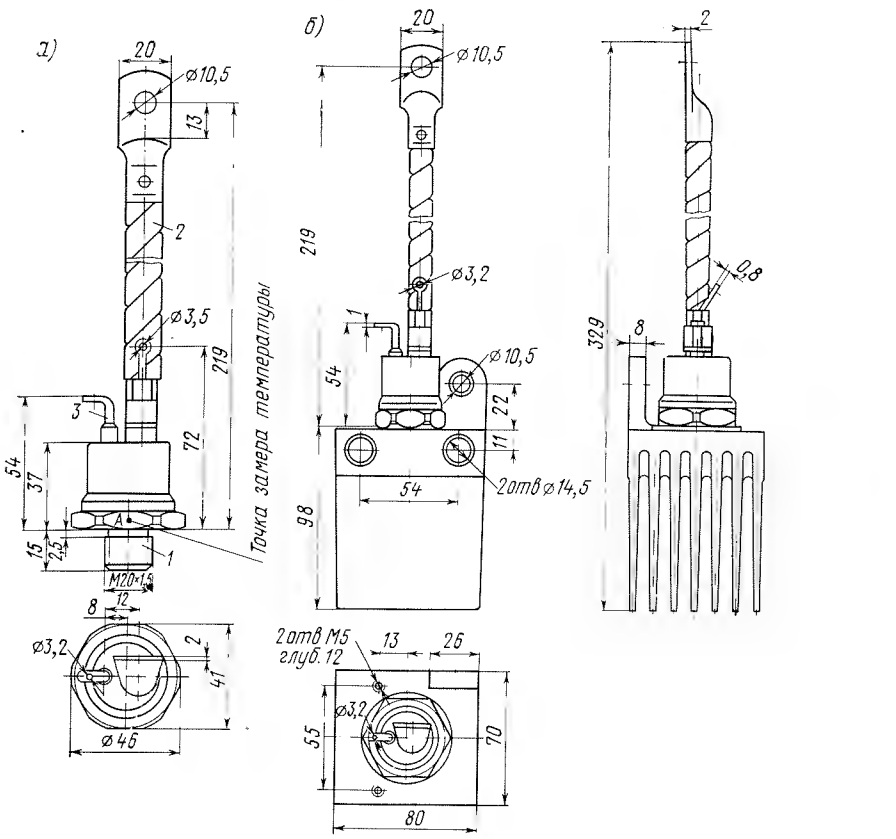


Рис. IX-31. Габаритные и установочные размеры лавинного тиристора серии ТЛ без охладителя (*а*) и с охладителем (*б*):
1 — анодный вывод; *2* — катодный вывод; *3* — управляющий вывод

Таблица IX-5

Основные технические данные тиристоров серии ТЛ

Тип тиристора	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Номинальное напряжение $U_{ном}$, В	Прямое падение напряжения ΔU, В	Время включения (типичная величина), мкс при $\Theta_н$		Время выключения (типичная величина), мкс при $\Theta_н$		Ток управления $I_у$ мА, при $\Theta_н$		Максимально допустимая амплитуда тока длительностью 10 мс, А
				25° С	140° С	25° С	140° С	—50° С	+140° С	
ТЛ-100	100	300÷1000	До 1,1	12,5	13,5	20	50	1300	300	1500
ТЛ-150	150	300÷1000	До 0,9	10	10,5	33	62	1000	225	2000
ТЛ-200	200	300÷1000	До 0,7	7,5	8,5	51	83	700	150	2500

Примечания. 1. Предельные величины времени включения для тиристоров ТЛ всех типов равны при θ=25° С и θ=140° С соответственно 15 и 17 мкс, а времени выключения — соответственно 80 и 150 мкс.

2. Напряжение управления при θ= —50° С и θ=140° С соответственно составляет 0,8 и 0,3 В для тиристоров ТЛ всех типов.

3. Для тиристоров ТЛ допустимые величины $\frac{di}{dt} \leqslant 20$ А/мкс, $\frac{du}{dt} > 100$ В/мкс.

Основные технические данные тиристоров серии ТЛ приведены в табл. IX-5, вольт-амперные характеристики тиристоров — на рис. IX-32 и IX-33, а диаграммы управления — на рис. IX-34 и IX-35.

Тиристоры серии ТД с повышенными динамическими параметрами применяют в статических преобразователях электроэнергии, а также в цепях постоянного и переменного тока частотой до 500 Гц различных силовых установок. Тиристоры ТД отличаются от обычных тиристоров способностью выдерживать скорости нарастания прямого напряжения до 100 В/мкс и тока — до 70 А/мкс.

Тиристоры делятся на классы от 1-го до 24-го и на группы по величинам $\left(\frac{du}{dt}\right)_{кр}$ (табл. IX-6), $\left(\frac{di}{dt}\right)_{кр}$ (табл. IX-7) и $t_{выкл}$. Тиристоры ТД с временем выключения $t_{выкл}$ = 250 мкс относятся к 1-й группе, 150 мкс — ко 2-й, 100 мкс — к 3-й и 70 мкс — к 4-й группе. Для группы 0 время $t_{выкл}$ не нормируется.

Нормальная работа тиристоров обеспечивается при температуре окружающего воздуха от —50° С до +125° С, относительной влажности до 98% (при +35° С), высоте над уровнем моря не более 1200 м.

Условное обозначение тиристора расшифровывается следующим образом. Например, ТД-250-13-0,90-431: ТД — тиристор с повышенными динамическими параметрами; 250 — предельный ток тиристора, А; 13 — класс (повторяющееся напряжение); 0,90 — прямое падение напряжения, В; 4 — группа по величине $\left(\frac{du}{dt}\right)_{кр}$, В/мкс, прямого напряжения; 3 — группа по величине $t_{вык}$, мкс; 1 — группа по величине $\left(\frac{di}{dt}\right)_{кр}$, А/мкс, прямого тока.

При наличии нескольких конструктивных исполнений тиристора буквенную часть обозначения дополняют цифрой, указывающей номер исполнения (для первого исполнения цифру 1 не указывают). Для тиристоров ТД-320 после обозначения предельного тока указывается буква А

Таблица IX-6

Группы тиристоров ТД по величине критической скорости нарастания прямого напряжения

Группа по $\left(\frac{du}{dt}\right)_{кр}$	Величина $\left(\frac{du}{dt}\right)_{кр}$, В/мкс не менее	Класс тиристора
2	50	
3	100	До 24
4	200	
4А	300	До 16
5	500	До 10
6	1000	До 5

Таблица IX-7

Группы тиристоров ТД по величине критической скорости нарастания прямого тока

Класс тиристора	Группа по $\left(\frac{di}{dt}\right)_{кр}$	Величина $\left(\frac{di}{dt}\right)_{кр}$, А/мкс не менее
1—5	3	70
6—10	2	40
11—24	1	20

Таблица IX-8

Классы тиристоров ТД, величины повторяющихся и неповторяющихся напряжений

Класс	$U_{повт}$, В	$U_{неповт}$, В	Класс	$U_{повт}$, В	$U_{неповт}$, В
1	100	110	11	1100	1230
2	200	220	12	1200	1340
3	300	330	13	1300	1450
4	400	450	14	1400	1570
5	500	560	15	1500	1680
6	600	670	16	1600	1790
7	700	780	18	1800	2010
8	800	890	20	2000	2240
9	900	1010	22	2200	2460
10	1000	1120	24	2400	2690

Примечания. 1. Все величины действительны во всем интервале допустимых рабочих температур Θ.

2. Для всех тиристоров величины $\frac{di}{dt}$ и $\frac{du}{dt}$ соответственно равны 20—70 А/мкс и 1000 В/мкс, время включения 15 мкс, а выключения 70—250 мкс.

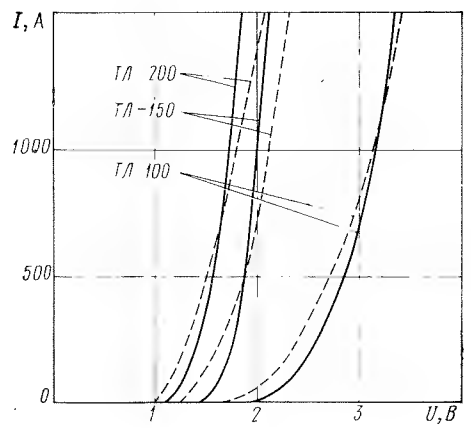


Рис. IX-32. Предельные вольт-амперные характеристики тиристоров серии ТЛ в открытом состоянии для температур структуры 50° С (сплошные линии) и 140° С (штриховые)

или Б (ТД-320А, ТД-320Б), обозначающая группу по прямому падению напряжения (соответственно 1,05 и 0,9 В).

Классы тиристоров ТД, величины повторяющихся и неповторяющихся напряжений приведены в табл. IX-8.

Основу тиристоров серии ТД составляет многослойная кристаллическая *p-n-p-n*-структура, заключенная в неразборный герметичный корпус. Изготовляют тиристоры ТД на четырех базовых конструкциях: ТД-25 (для типов ТД-20, ТД-25, ТД-40); ТД-80 (ТД-63, ТД-80, ТД-100); ТД-160 (ТД-125, ТД-160, ТД-200) и ТД-320 (ТД-250, ТД-320). Анодом тиристора является медное основание корпуса. Тиристоры на базовых конструкциях ТД-25 и ТД-80 имеют жесткие выводы катода и управляющего электрода, а тиристоры на базовых конструкциях ТД-160 и ТД-320 изготовляют с жестким или гибким катодным и управляющим выводами.

Высокие динамические свойства тиристоров ТД достигаются специальной конструкцией управляющего электрода, *p-n-p-n*-структуры и использованием конструкции эмиттера с локальными короткозамкнутыми участками. Тиристоры размещены в металлостеклянном или металлокерамическом корпусах и применяются с охладителями из алюминиевых сплавов.

Предельные значения электрических параметров и характеристики тиристоров ТД приведены в табл. IX-9. Конструкция, а также габаритные и установочные размеры тиристоров ТД показаны на рис. IX-36—IX-39.

Тиристоры быстродействующие типа ТБ способны работать при частотах до 10 кГц, что обеспечивается в первую очередь малыми коммутационными потерями и небольшими временами включения и выключения.

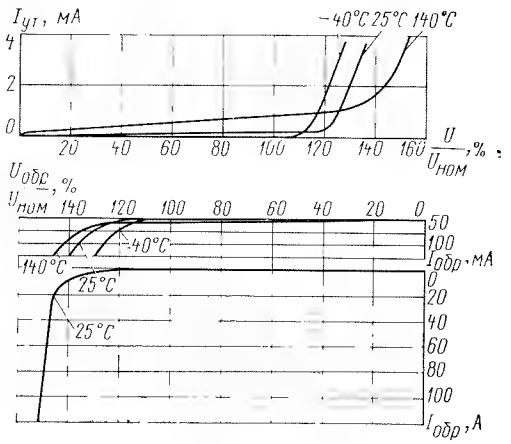


Рис. IX-33. Прямые и обратные ветви типичных вольт амперных характеристик тиристоров ТЛ для различных значений температуры

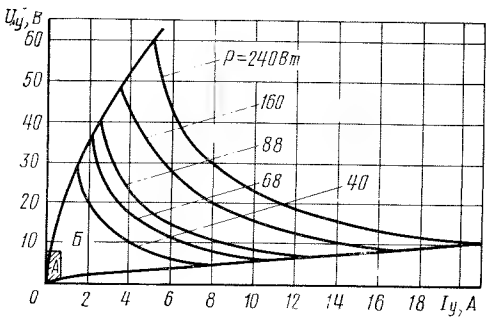


Рис. IX-34. Диаграмма управления тиристоров ТЛ: *А* — область возможного отпирания; *Б* — область гарантированного отпирания

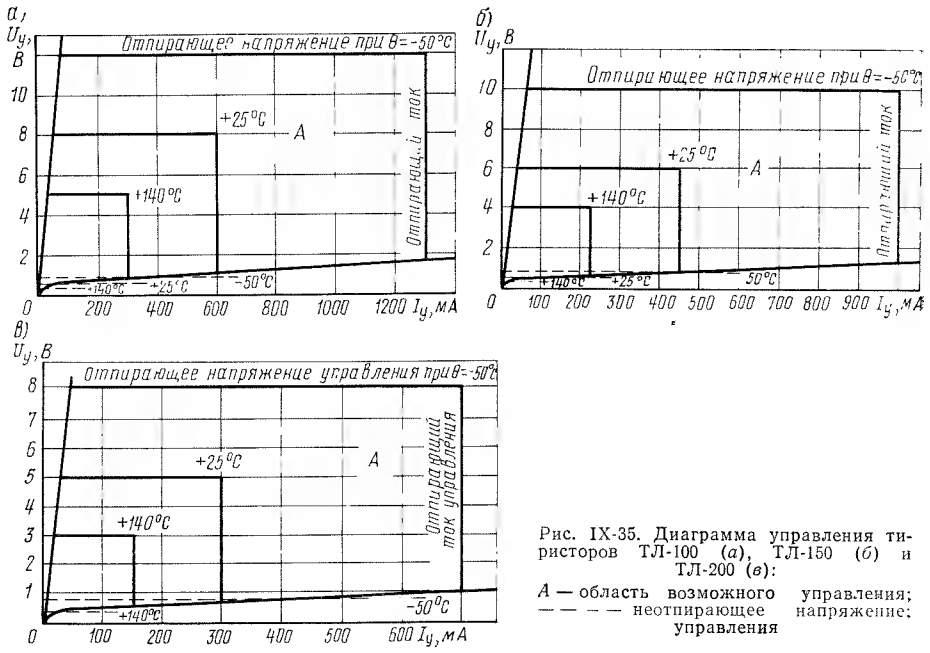


Рис. IX-35. Диаграмма управления тиристоров ТЛ-100 (*а*), ТЛ-150 (*б*) и ТЛ-200 (*в*):

А — область возможного управления; — — — — неотпирающее напряжение; управления

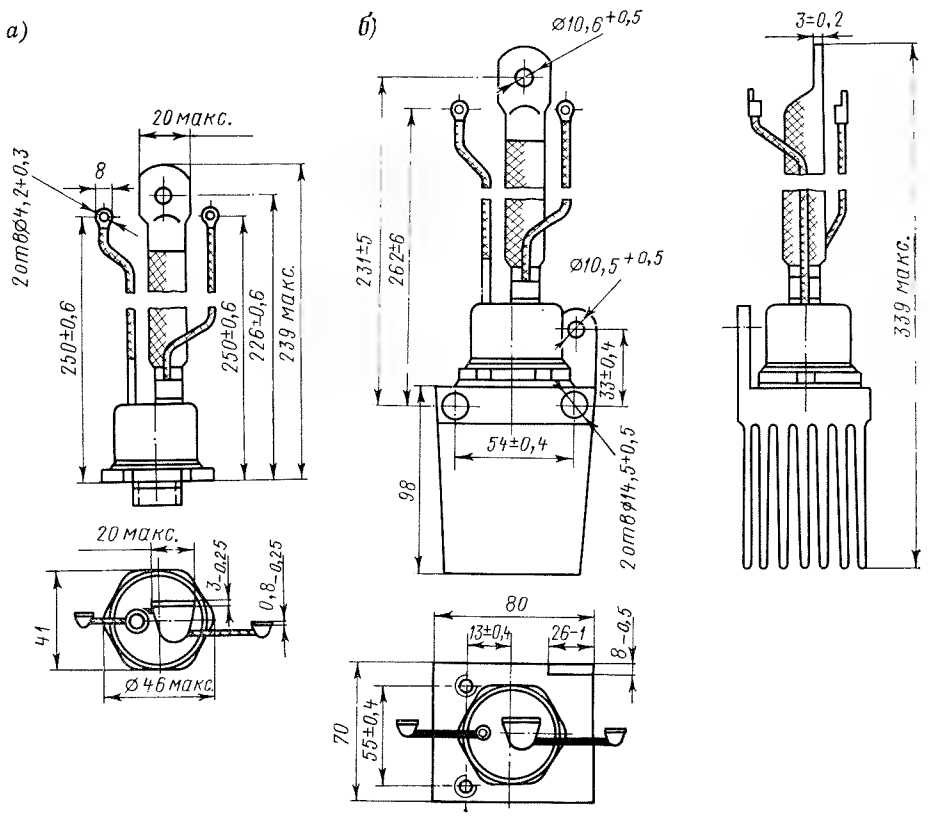


Рис. IX-36. Габаритные и установочные размеры тиристоров ТД-125, ТД-160, ТД-200 с гибким выводом:

а — без охладителя; *б* — с охладителем

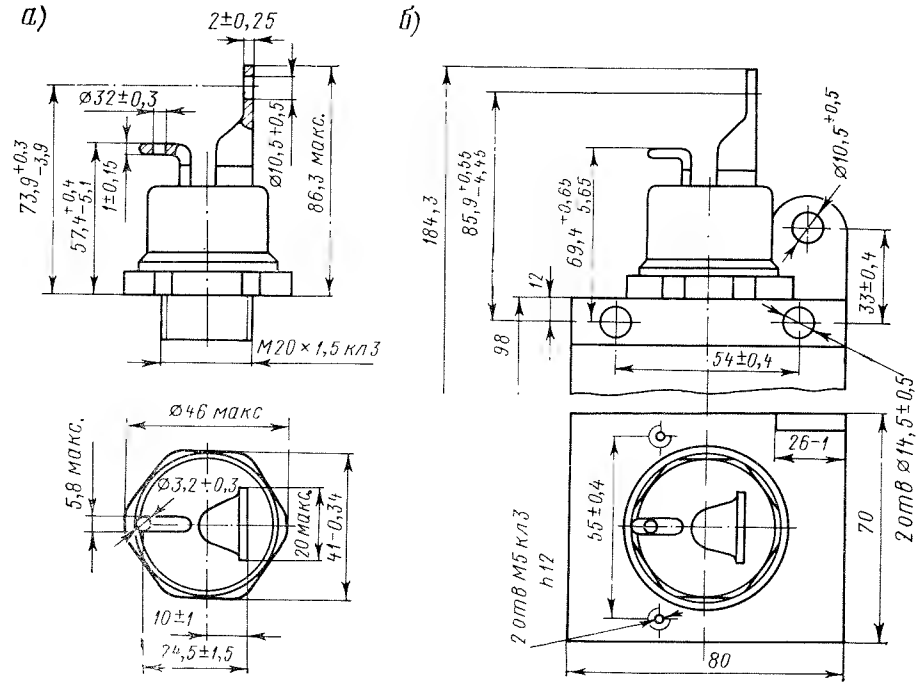


Рис. IX-137. Габаритные и установочные размеры тиристоров ТД-125, ТД-160, ТД-200 (с жестким выводом):

а — без охладителя; *б* — с типовым охладителем

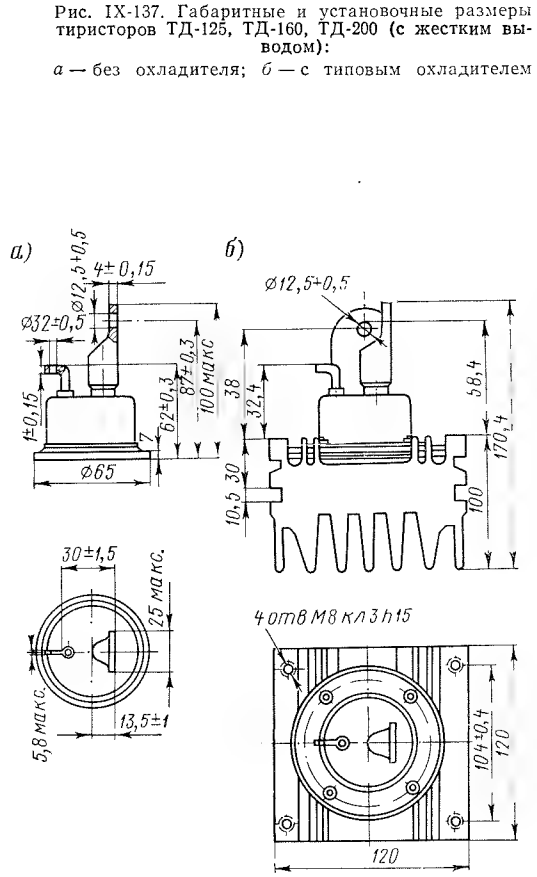


Рис. IX-38. Габаритные и установочные размеры тиристоров ТД-250, ТД-300 (с жестким выводом):

а — без охладителя; *б* — с типовым охладителем

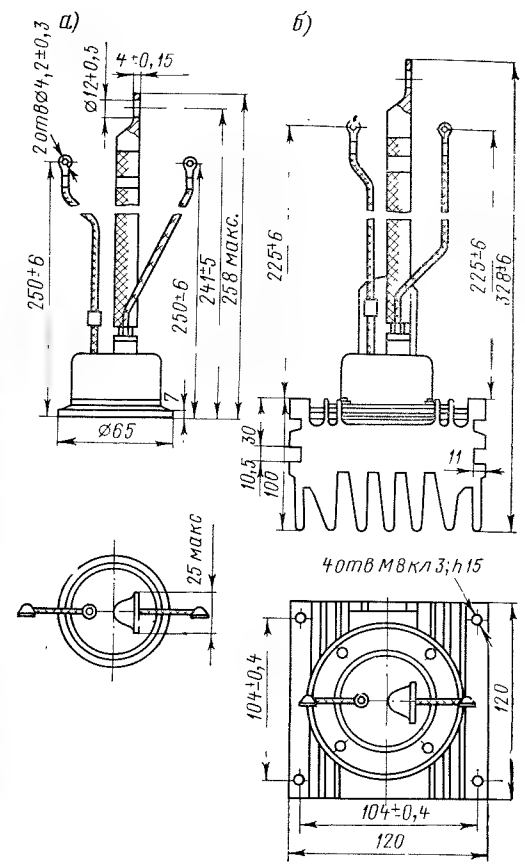


Рис. IX-39. Габаритные и установочные размеры тиристоров ТД-250, ТД-320 с типовым охладителем (гибкий вывод)

Таблица IX-9

Основные технические данные тиристоров ТД

Тип тиристора	Предельный ток $I_п$, А	Ударный синусоидальный ток длительностью 10 мкс, кА	Прямое падение напряжения, В	Класс тиристора от 1 до	Предельный ток с охладителем $I_{по}$, А	Группа по времени выключения от нулевой до	Масса тиристора, кг не более	
							без охладителя	с охладителем
ТД-20	20	0,3	2,0 1,8 1,65 1,5	24 24 22 20	11,0 12,0 13,0 13,5	4	—	—
ТД-25	25	0,6	1,5 1,3 1,15 0,95	20 18 16 15	14 16 18 21	4 3	0,13	0,75
ТД-40	40	0,8	0,95 0,85	15 14	22 25	3	—	—
ТД-63	63	1,1	2,25 2,0 1,8	24 22 20	35 40 46	4	—	—
ТД-80	80	1,4	1,8 1,6 1,45	20 18 16	50 53 57	4	0,22	0,85
ТД-100	100	1,6	1,45 1,2	16 14	60 64	3	—	—
ТД-125	125	1,9	1,5 1,35 1,25	20 18 16	75 80 86	4 3 3	— — —	— — —
ТД-160	160	2,3	1,25 1,0	16 14	90 100	3	0,33/0,42	0,95/1,1
ТД-200	200	2,8	0,95 0,85	14 13	110 115	2	—	—
ТД-250	250	3,5	1,15 1,10	18	160 170	3	—	—
ТД-320А	320	4,0	1,05	16	200	2	0,46/0,69	2,8/3,0
ТД-320Б	320	4,0	0,90	15	230	2	—	—

Примечания. 1. Числитель означает массу при выполнении тиристора с жестким катодным выводом, а знаменатель — с гибким выводом.

2. Предельный ток с охладителем $I_{по}$ соответствует работе тиристора в комплекте с охладителем при температуре охлаждающей среды 40° С и скорости охлаждающего воздуха 0 м/с для ТД-20, ТД-25 и ТД-40; 6 м/с для ТД-63, ТД-80, ТД-100, ТД-160 и ТД-200; 12 м/с для тиристоров ТД-250 и ТД-320.

Такие тиристоры незаменимы при создании инверторов, прерывателей, трансформаторов постоянного тока и других быстродействующих устройств.

Нормальная работа тиристоров обеспечивается при температуре окружающего воздуха от —50° С до +125° С, относительной влажности до 98% (при +35° С), высоте не более 1200 м над уровнем моря, во взрывобезопасных и химически неактивных средах, в средах, не содержащих токопроводящую пыль, агрессивные газы или пары в концентрациях, разрушающих металл и изоляцию.

Условное обозначение типа тиристора расшифровывается следующим образом. Например, ТБ2-200-10-0,9—431: ТБ — тиристор быстродействующий; 2 — второе исполнение; 200 — предельный ток тиристора, А; 10 — класс (повторяющееся напряжение); 0,9 — прямое падение напряжения, В; 4 — группа по величине критической скорости нарастания прямого напряжения; 3 — группа по величине времени выключения; 1 — группа по величине критической скорости нарастания прямого тока.

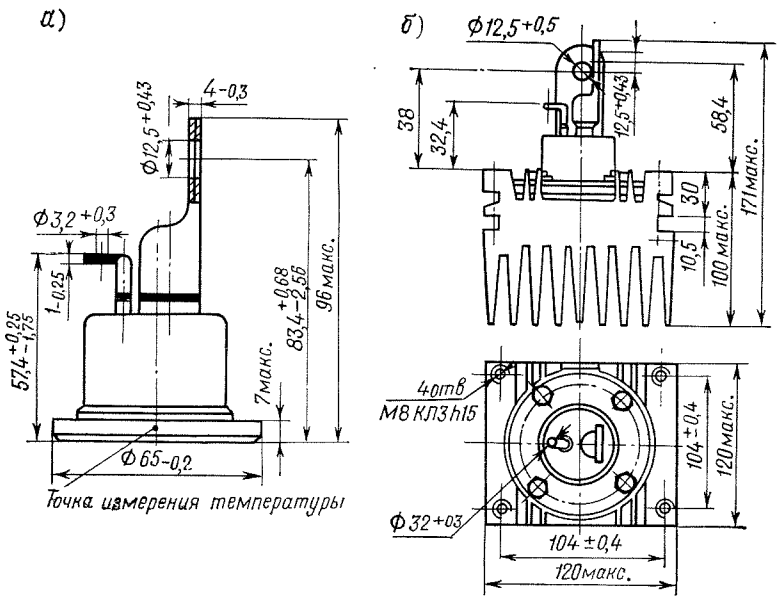


Рис. IX-40. Габаритные и установочные размеры тиристоров ТБ-160, ТБ2-200 без охладителя (*а*) и с охладителем (*б*)

Основные технические данные тиристоров приведены в табл. IX-10, а габаритные и установочные размеры — на рис. IX-40—IX-42.

Высокочастотные тиристоры серии ТЧ предназначены для работы в преобразователях постоянного и переменного тока частотой от 50 до 25 000 Гц в следующих условиях: температура окружающей среды от —40 до +40° С; высота над уровнем моря не более 1200 м; относительная влажность до 98% при 35° С; вибрация в диапазоне частот от 5 до 80 Гц с ускорением 7,5 *g* и ударные сотрясения с ускорением до 12 *g*.

В табл. IX-11 приведены основные технические данные высокочастотных тиристоров серии ТЧ различных типов.

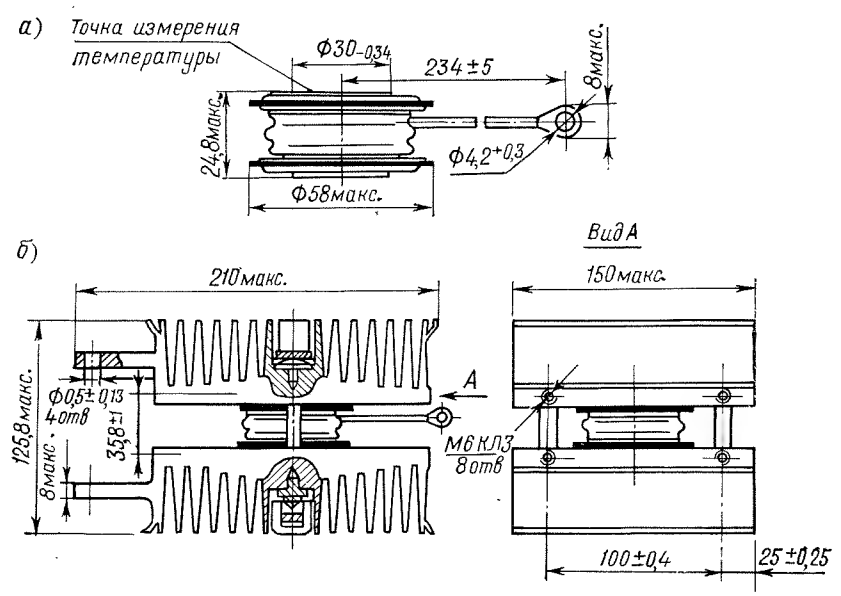


Рис. IX-41. Габаритные и установочные размеры тиристоров ТБ-200, ТБ-250 без охладителя (*а*) и с охладителем (*б*)

Таблица IX-10

Основные данные быстродействующих тиристоров ТБ

Наименование показателей	Тиристоры типа					
	ТБ-160	ТБ2-200	ТБ-200	ТБ-250	ТБ-320	ТБ-400
Повторяющееся напряжение, В	300—1200	300—1000	300—1200	300—1000	300—1200	300—1000
Неповторяющееся напряжение, В	335—1340	335—1120	335—1340	335—1120	335—1340	335—1120
Предельный ток, А (среднее значение) при $\Theta_{корп} = 70°$ С, и $f = 50$ Гц	160	200	200	250	320	400
То же при $f = 1$ кГц	156	195	196	245	315	393
Предельный ток $I_п$, А (среднее значение при типовом охладителе, $v = 12$ м/с, $f = 50$ Гц, $\Theta = +40°$ С)	145	180	190	235	265	335
Ударный ток, А, при $\Theta = 110°$ С, $t = 10$ мс	4 000	4 500	4 500	5 000	6 000	7 000
Значение интеграла $\int i^2 dt$, $А^2 \cdot с$, при $\Theta = +110°$ С, $t = 10$ мс	80 000	101 000	101 000	125 000	180 000	245 000
Прижимное усилие H, кгс	От 15 000 до 25 000	—	От 7 500 до 8 500	—	От 12 000 до 13 000	
Прямое падение напряжения, В (мгновенное значение) при $\Theta = +25°$ С, $I = 3{,}14 I_п$, не более	2,0	1,7	2,4	2,0	2,8	2,1
Обратный ток и ток утечки, мА (мгновенное значение), при $\Theta = +110°$ С, $U = U_{обр} = U_{повт}$, не более	30				40	
Отпирающий ток управления, А, при $\Theta = +25°$ С, $U = 12$ В, $R_у = 5$ Ом, $t_у = \infty$, не более	0,35				0,4	
Внутреннее установившееся тепловое сопротивление, °С/Вт, без охладителя со стороны анода (со стороны катода), не более	0,14	0,16(0,21)			0,087(0,12)	
То же с типовым охладителем при $v = 12$ м/с, °С/Вт	0,13	0,155			0,135	
Масса тиристора без охладителя, кг, не более	0,48	0,23			0,42	
То же с типовым охладителем, кг, не более	2,8	5,1			5,3	

Примечания. 1. При $\Theta = +110°$ С, $U = U_{повт}$, $I = 2I_п$, $f = 5$ Гц, $U_у = 20$ В, $R_у = 5$ Ом, $\frac{di_у}{dt} = 5$ А/мкс, $t_у = 10$ мкс критическая скорость нарастания прямого тока в соответствии с группой равна 100 или 200 А/мкс.

2. При $\Theta = +110°$ С, $U = 0{,}67\ U_{повт}$ критическая скорость нарастания прямого напряжения в соответствии с группой не менее 100, 200, 300, 500 и 1000 В/мкс.

3. При $\Theta = +110°$ С, $I = I_п$, $U_{обр} = 100$ В, $\frac{di}{dt} = 10$ А/мкс, $U = 0{,}67\ U_{повт}$, $\frac{du}{dt}$ в соответствии с группой, время выключения не более 20, 30 и 50 мкс.

4. При $\Theta = +25°$ С, $U = 300$ В, $I = I_п$, $U_у = 20$ В, $R_у = 5$ Ом, $\frac{di_у}{dt} = 5$ А/мкс, $t_у = 10$ мкс время включения не более 5,0 мкс.

5. При $\Theta = +25°$ С, $U_у = 12$ В, $I = I_п$, $R_у = 5$ Ом, $t_у = \infty$ отпирающее напряжение управления не более 5,5 В.

6. Диапазон допустимых температур p-n-p-n-структуры от —50 до +110° С.

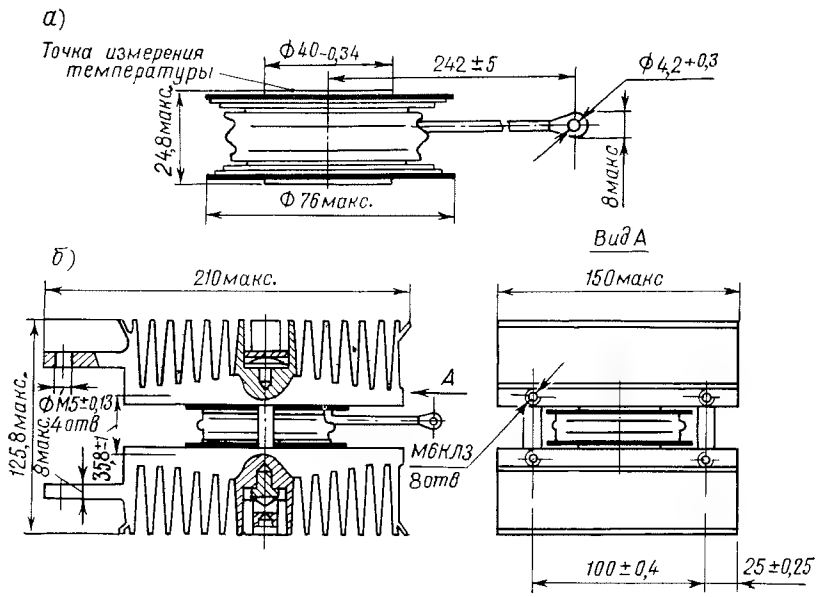


Рис. IX-42. Габаритные и установочные размеры тиристоров ТБ-320, ТБ-400 без охладителя (*а*) и с охладителем (*б*)

Характерными для тиристоров ТЧ всех типов являются следующие параметры:

Время включения при $\theta = 25 \pm 5°$ С, не более	6 мкс
Время выключения при $\theta = 25 \pm 5°$ С, не более	15 »
Длительность импульсов тока, не менее	10 »
Ток удержания тиристоров при $\theta = 25 \pm 5°$ С, не более	250 мА
Скорость нарастания прямого тока, не менее	100 А/мкс
Скорость нарастания прямого напряжения, не менее	100 В/мкс
Средняя интенсивность отказов тиристоров, не выше	$5 \cdot 10^{-5}$ отказов/ч
Длительность перегрузки по току при 25 % $I_{ном}$	30 с
То же при 100% $I_{ном}$	1 с
Интервал между перегрузками не менее	5 мин
Число перегрузок в течение 30 мин, не более	2

Таблица IX-11

Основные технические данные высокочастотных тиристоров серии ТЧ

Тип тиристора	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Прямое падение напряжения ΔU, В	Параметры цепи управления					
			Максимальный отпирающий ток не более, А, при Θ		Максимальное отпирающее напряжение, В, не более, при Θ		Максимальное неотпирающее напряжение при $\Theta = 110°$ С, В	Максимально допустимое отрицательное смещение на управляющем электроде при $\Theta = 110°$ С, В
			+25° С	—40° С	+25° С	—40° С		
ТЧ-10	10	1,4	0,8	1,2	3,0	3,5	0,4	1,5
ТЧ-16	10	0,9						
ТЧ-25	25	0,6						
ТЧ-40	40	1,5	0,9	1,6	3,0	3,5	0,35	2,0
ТЧ-50	50	1,3						
ТЧ-63	63	1,2	1,0	2,0	2,5	3,0	0,5	3,0
ТЧ-80	80	1,0						
ТЧ-100	100	0,85						
ТЧ-125	125	0,70						

Примечания. 1. Скорость охлаждающего воздуха для тиристоров ТЧ-10, ТЧ-16 и ТЧ-25 равна 0, а для тиристоров остальных типов составляет 12 м/с.

2. Среднее значение обратного тока и тока утечки при $\Theta = 110°$ С для тиристоров ТЧ-10, ТЧ-16, ТЧ-25 не более 10 мА, а для тиристоров остальных типов — не более 20 мА.

IX-4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИЛОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫМ УСТАНОВКАМ Э.П.С. И УСЛОВИЯ ИХ РАБОТЫ

Выпрямительная установка (ВУ) предназначена для преобразования переменного тока промышленной частоты 50 Гц в выпрямленный для питания тяговых двигателей.

Выпрямительные установки рассчитаны на работу при температуре окружающей среды от —50 до +60° С (температура охлаждающего воздуха от —50 до +40° С), относительной влажности воздуха до 90% при +20° С и 50% при +40° С, воздействии вибраций с частотой до 30 Гц и ускорением до 1 g; ударными ускорениями (2—3)g, высоте над уровнем моря до 1200 м (ГОСТ 9219—66).

Типовые обозначения выпрямительных установок отечественных электровозов переменного тока ВУК-60-3, ВУК-60-4, ВУК-4000М, ВУК-4000Л, ВУК-6700; ВУК-6700Л. Здесь В — выпрямительная, У — установка, К — на кремниевых вентилях, 60 — для электровозов ВЛ60^{к}, 3 или 4 — модификация, 4000 или 6700 — мощность одного блока, кВт, М — модернизированная, Л — на лавинных вентилях. Типовые обозначения выпрямительных установок электропоездов переменного тока ВУТ-800, УВП-1, УВП-3 расшифровываются следующим образом: В — выпрямительная, У — установка, Т — расположена в тамбуре вагона, 800 — мощность установки, кВт, П — подвагонная, 1 или 3 — исполнение.

Вентили выпрямительной установки допускается заменять без подбора их по характеристикам в пределах соответствующих групп. При этом обратные напряжения на последовательно соединенных группах нелавинных вентилей, имеющих шунтирующие элементы $R_ш$, $R_с$, должны отличаться от среднего значения не более чем на ±5%, а прямые токи по параллельно включенным вентилям — не более чем на ± 10%.

Вентили в зависимости от величины прямого падения напряжения имеют различную по цвету маркировку: при 0,52—0,54 В черную, при 0,55 — 0,58 В белую и при 0,59 — 0,61 В красную.

Внутренний монтаж выпрямительных установок, устройств защиты, внешних подводящих проводов следует выполнять таким образом, чтобы исключить вибрацию проводов во время работы электровоза.

Изоляция токоведущих частей выпрямительной установки относительно земли в холодном состоянии должна выдерживать в течение 1 мин испытательное напряжение частотой 50 Гц, равное $2{,}5U_{xx}$ + + 2000 В, где U_{xx} — эффективное значение номинального напряжения холостого хода вторичной обмотки тягового трансформатора. Сопротивление изоляции в холодном состоянии между токоведущими частями и корпусом, между радиаторами двух последовательно соединенных вентилей должно быть не менее 30 МОм.

IX-5. ОСОБЕННОСТИ СХЕМ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Параметры схем выпрямления. На электровозах и моторных вагонах электропоездов переменного тока применяют двухполупериодное выпрямление однофазного тока только по мостовой схеме, поскольку в этом случае обеспечивается лучшее, чем при схеме с нулевым выводом, использование вторичной обмотки трансформатора.

Условия работы вентилей характеризуются средним значением тока $I_а$ и максимальным обратным напряжением $U_{ном}$, которое вентиль должен выдерживать в процессе выпрямления. В первом приближении габаритные размеры ВУ определяются суммой произведений $U_{ном}I_а$ для всех вентилей.

Ток через вентили протекает поочередно через полупериод, и его среднее значение

$$I_а = 0{,}5\, I_{d0},$$

где I_{d0} — ток нагрузки тяговых двигателей.

Максимальное обратное напряжение при мостовой схеме равно $U_{х.х.\,макс}$ — максимальному значению напряжения на вентиле (холостой ход).

Типовая мощность вентилей для мостовой схемы

$$P_d = 4 \cdot 0{,}5\, U_{xx\,max} \cdot I_{d0} = \pi U_{d0}\, I_{d0},$$

где U_{d0} — среднее значение напряжения тягового двигателя.

На рис. IX-43 показан однофазный мостовой выпрямитель, имеющий четыре плеча I—IV. Каждое плечо моста реального выпрямителя состоит из группы вентилей, соединенных последовательно-параллельно.

Выбор вентилей. Количество вентилей выпрямительной установки электровоза или моторного вагона определяется током питаемых ею тяговых двигателей, обратным напряжением, приходящимся на плечи моста, и условиями охлаждения вентилей.

Для грузовых электровозов, для которых характерным режимом является трогание с места, при реализации повышенных значений коэффициента сцепления, в качестве расчетного обычно принимают ток двигателей при максимальной силе тяги по сцеплению для скорости $v = 0$ (коэффициент сцепления $\psi = 0{,}36$). Для пассажирских электровозов и моторных вагонов целесообразно в качестве расчетного принимать ток уставки защиты от перегрузок, выбирая уставку с некоторым запасом по отношению к толчкам тока при пуске.

Число последовательно включенных вентилей плеча a, исходя из условия работы преобразовательной установки в длительном режиме, определяют по формуле

$$a = \frac{\sqrt{2}\,\kappa_{u1}\, U_{xx}}{\kappa_{u2}\, U_{ном}}, \qquad (IX\text{-}1)$$

где $\kappa_{u1} = \frac{29}{25} = 1{,}16$ — коэффициент, учитывающий повышение напряжения в контактной сети (ГОСТ 6962—54);

U_{xx} — номинальная величина напряжения холостого хода во вторичной обмотке трансформатора на последней ступени регулирования (эффективное значение);

$U_{ном}$ — номинальная величина обратного напряжения одного вентиля;

κ_{u2} — коэффициент, учитывающий неравномерное распределение обратного напряжения между последовательно соединенными вентилями; для нелавинных вентилей κ_{u2}=0,9, для лавинных κ_{u2}=1,0.

Исходя из максимально возможных перенапряжений на вентилях число последовательно включенных вентилей плеча выбирают по формуле

$$a = \frac{U_{max}}{U_{ном}\,\kappa_{u2}\,\kappa_{u3}} + 1, \qquad (IX\text{-}2)$$

где U_{max} — наибольшая величина возможного в эксплуатации перенапряжения выпрямительной установки;

κ_{u3} — коэффициент, учитывающий кратковременное перенапряжение для одиночного вентиля. Согласно ГОСТ 10662—69 для нелавинных вентилей κ_{u3}=1,5, для лавинных κ_{u3} = 1,2.

Количество последовательно соединенных вентилей для преобразовательной установки принимают по наибольшему значению, полученному по формулам (IX-1) и (IX-2). Прибавляя в последовательную цепь еще один вентиль, дополнительно повышают надежность выпрямителя, обеспечивая расчетные величины напряжений на вентилях при пробое одного из них. Число параллельно включенных вентилей в плече b исходя из условий работы преобразовательной установки в длительном режиме определяют по следующей формуле:

$$b = \frac{I_{d0}}{2 I_а\, \kappa_р\, \kappa_т\, \kappa_в}, \qquad (IX\text{-}3)$$

где I_{d0} — расчетное значение выпрямленного тока;

$I_а$ — номинальное значение прямого тока вентиля при температуре охлаждающего воздуха +40° С и его скорости 12 м/с (ГОСТ 10662—69);

$\kappa_р$ — коэффициент, учитывающий небаланс тока между параллельными ветвями и зависящий от числа последовательно соединенных вентилей, схемы подвода тока, ширины диапазона прямого падения напряжения вентилей, которыми укомплектовано плечо, а также от подбора их по суммарному падению напряжения в каждой ветви; обычно принимают $\kappa_р$ = 0,8;

$\kappa_т$ — коэффициент, учитывающий подогрев воздуха вследствие последовательного включения вентилей;

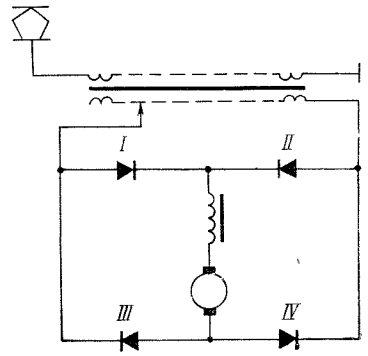


Рис. IX-43. Принципиальная силовая схема электроподвижного состава переменного тока с кремниевыми выпрямителями

$\kappa_в$ — коэффициент, учитывающий неравномерность скорости охлаждающего воздуха по сечению воздухопровода.

Общее количество вентилей в однофазном мостовом выпрямителе $N_\Sigma = 4\,ab$. Среднее за период падение напряжения в параллельном ряду кремниевых вентилей

$$\Delta U_{ном} = \frac{1}{2}\, U_0 + R_д\, \frac{1}{b}\, I_{d0}, \qquad (IX\text{-}4)$$

где U_0 — пороговое падение напряжения;

$R_д$ — усредненное динамическое сопротивление прямой ветви вольт-амперной характеристики.

К.п.д. выпрямителя

$$\eta = \frac{U_{d0} - 2a\,\Delta U_{ном}}{U_{d0}} = 1 - 2a\,\frac{\Delta U_{ном}}{U_{d0}}.$$

Схемы соединения вентилей в плече выпрямителя. Вентили в плече выпрямителя могут быть соединены различно. При последовательном соединении нелавинных вентилей необходимо применять делители напряжения, состоящие из резисторов $R_ш$ (рис. IX-44, *а*), для обеспечения равномерного распределения обратного напряжения между ними из-за неодинаковых величин обратного тока и контуры RC для гашения перенапряжений, возникающих при коммутации тока.

В СССР на э.п.с. преимущественно применяют схему с резисторами связи $R_с$ (рис. IX-44, *г*). За рубежом находят применение схемы и с раздельными цепями вентилей (рис. IX-44, *б*) и с «глухими» уравнительными соединениями (рис. IX-44, *в*). Последним отдают предпочтение в тех случаях, когда для упрощения конструкции выпрямительного агрегата применяют общий, групповой охладитель для вентилей каждого параллельного ряда.

Лавинные вентили, которые в настоящее время внедрены на э.п.с. в СССР вместо обычных, позволяют отказаться от делителей напряжения $R_ш$ и контуров RC (рис. IX-44, *д*). Нормальная работа последовательно соединенных лавинных вентилей обеспечивается, если амплитуда обрат-

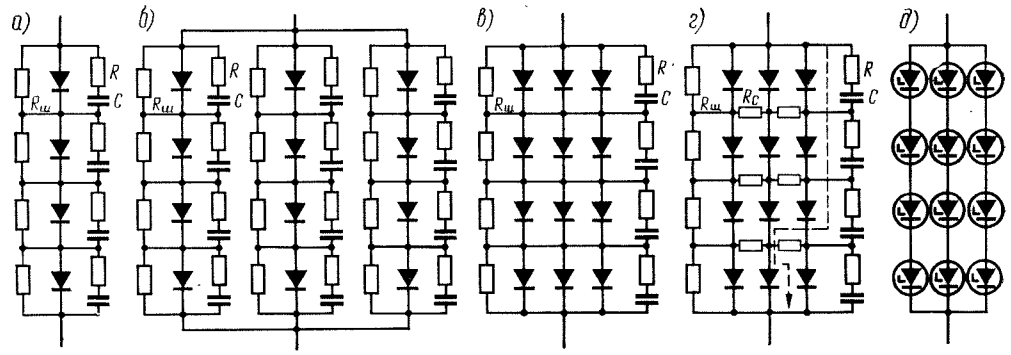


Рис. IX-44. Схемы соединения вентилей в плече моста:

а — последовательное соединение нелавинных вентилей; *б* — с индивидуальными резисторами $R_ш$ и контурами *RC* на каждый вентиль; *в* — с «глухими» уравнительными соединениями в параллельном ряду; *г* — с резисторами связи между параллельными рядами; *д* — соединение лавинных вентилей

ного напряжения плеча выпрямителя не достигает суммы напряжений стабилизации, т. е. если соблюдено условие $\Sigma U_{лав} > U_{max}$.

Компоновка вентилей в выпрямительном агрегате. На некоторых западноевропейских электровозах (ФРГ, Франция) получила распространение блочная система компоновки выпрямителей, при которой для питания каждого тягового двигателя на электровозе устанавливают отдельный агрегат обычно цилиндрической конструкции.

В СССР на э.п.с. применена более простая и совершенная групповая система, в которой от одного общего выпрямителя с централизованной системой вентиляции и защиты питается группа тяговых двигателей. В групповом выпрямителе вентили либо объединяют в общий мост, либо группируют в несколько мостов — секций, которые можно отключать при повреждениях или использовать для раздельного питания тяговых двигателей.

На моторных вагонах в настоящее время преимущественно применяют подвагонное расположение выпрямителей. Имеются также конструкции выпрямителей для размещения на крыше моторного вагона.

Выпрямители обычно работают с принудительным воздушным охлаждением радиаторов (охладителей) вентилей. Количество воздуха выбирают из расчета, что перегрев его при прохождении через выпрямительную установку не должен превышать 10—15° С.

IX-6. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОВОЗОВ И МОТОРНЫХ ВАГОНОВ

Основные технические данные выпрямительных установок электровозов и электропоездов приведены в табл. IX-12.

На электровозах ВЛ60к раннего выпуска применены выпрямительные установки ВУК-60-3, а на электровозах более позднего выпуска (начиная с № 2327) — ВУК-60-4 на лавинных вентилях. Принципиальные схемы выводов и соединения вентилей плеча выпрямительных установок электровозов ВЛ60к представлены на рис. IX-45.

Каждая выпрямительная установка выполнена из двух одинаковых блоков (рис. IX-46), причем блок представляет собой конструктивное сочетание двух плеч моста. Последовательно соединенные вентили расположены в горизонтальных рядах, параллельно соединенные — в вертикальных. В блоке с наружной стороны двух больших граней расположены вентили двух плеч. Охладители этих вентилей внутри блока обращены друг к другу и находятся в потоке охлаждающего воздуха, проходящего сверху вниз (рис. IX-47). Все элементы $R_ш$ и *RC* расположены на специальных панелях, вынесенных из блока ВУ. Оба блока расположены симметрично относительно оси электровоза в плане по углам высоковольтной камеры.

На электровозах ВЛ80к первых выпусков были смонтированы выпрямительные установки ВУК-4000. На электровозах ВЛ80к с № 352 применяют установки ВУК-4000Л с лавинными вентилями. Схемы соединения вентилей в плече моста показаны на рис. IX-48, *б*. В двух плечах выпрямительного моста (со стороны заводского щитка) в трех верхних горизонтальных рядах вентили подобраны по величинам обратных напряжений (замерены при обратном токе 30 А) таким образом, что обеспечивается одновременный переход их в режим лавинообразования. Это позволяет увеличить рассеиваемую энергию импульса перенапряжений до 36 Дж.

Выпрямительные установки ВУК-4000 (рис. IX-49) включают в себя вентили четырех плеч моста. Они представляют собой высокие узкие параллелепипеды. Вентили с охладителями установлены на двух противоположных больших гранях параллелепипеда, с каждой стороны по два плеча моста. Последовательно соединенные вен-

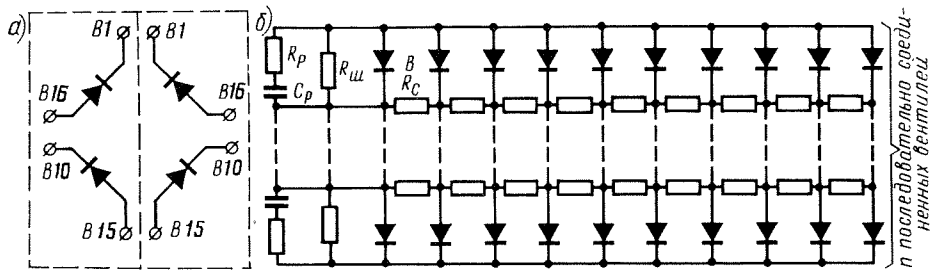
Таблица IX-12

Основные технические данные выпрямительных установок

Показатели	GL-B1360/1200 W-S	ŘV6	ŘV10	ВУК-60-3	ВУК-60-4	ВУК-4000	ВУК-4000М	ВУК-4000Л	ВУК-6700	ВУК-6700Л	ВУТ-800	УВП-1	УВП-3
	Выпрямительная установка типа												
Область применения (серия электровоза или электропоезда)	К	ЧС4	ЧС4	ВЛ60к	ВЛ60к	ВЛ80к	ВЛ80к	ВЛ80к ВЛ80к	ВЛ82	ВЛ82	ЭР9	ЭР9П	ЭР9П
Количество ВУ на электровозе или моторном вагоне	6	2	2	2	2	4	4	4	2	2	1	1	1
Масса, кг	460	810	1592	1000	800	1450	850	750	1110	500	—	580	400
Габаритные размеры, м	—	1,52×0,72×1,235	1,95×1,65×0,82	1,58×1,10×0,62	1,28×1,13×0,62	1,85×1,54×0,62	1,445×1,255×0,785	1,86×0,73×1,45	1,56×1,21×0,65	1,210×1,51×0,75	—	2,22×0,90×0,92	1,27×0,90×0,92
	Мостовая										Мостовая с вентильным переходом		
Номинальное действующее значение питающего напряжения, В	1510	1040	1040	2060	2800	1230	1230	1500	3800	3800	2208	2208	2208
Номинальное выпрямленное напряжение, В	1360	935	935	3200	2500	1270	1270	1350	4200	4200	1650	1650	1650
Номинальный выпрямленный ток, А	1100	3300	4800	3000	3000	3200	3200	3200	1600	1600	600	600	600
Максимальное обратное амплитудное напряжение, В	—	—	—	7000	7500	7000	4500	2450	6240	6240	3600	3600	3600
Скорость охлаждающего воздуха, м/с	10—18	—	10	10	10	10	10	10	10	10	—	12	12
Количество воздуха при номинальной скорости, м³/мин	150	132	180	130	130	170	170	170	170	170	—	—	—
Схема выпрямления	Мостовая			Мостовая с разомкнутыми плечами					Мостовая				
Тип вентиля	—	—	VK 200/5	ВК2-200-4Б	ВК2-200-7	ВЛ-200-8	ВК2-200-7	ВЛ-200-8	ВК2-200-8	ВЛ-200-8	ВКД-200-4	ВК2-200-6	ВЛ-200-8
Количество вентилей:													
параллельно соединенных в плече	4	2×11	20	10	10	12	12	12	6	6	3	3	3
последовательно соединенных в плече	4	5	4	14	8	8	6	4	14	10	16	10	6
в одном плече	16	110	80	140	80	96	72	48	84	60	48	30	18
в одной установке	64	440	320	560	320	384	288	192	336	240	—	—	—
общее на электровозе	384	880	640	1120	640	1536	1152	768	672	480	216	144	84
К. п. д. не менее, %	99,3	—	—	98	98	98	98	98	98	98	—	—	—

Примечания. 1. Конструктивно выпрямительная установка ŘV6 выполнена в виде двух агрегатов, соединенных по мостовой схеме. Данные приведены для одного агрегата.

2. Конструктивно выпрямительная установка ВУК-60 выполнена в виде двух шкафов, представляющих собой два плеча моста. Данные приведены для одного шкафа.



Тип выпрямительной установки	ВУК-60-3	ВУК-60-4	ВУК-60-4	ВУК-60-4
Вентиль	ВКД-200-4	ВКД-200-7	ВЛ-200-8	ВЛ-200-8
Число последовательно соединенных вентилей	14	8	5	5
Резистор $R_ш$	ПЭВ-75, 75Вт; 560 Ом	ПЭВ-75; 75 Вт; 560 Ом	ПЭВ-75; 75 Вт; 1500 Ом	—
Резистор $R_р$	0,3 Ом	0,3 Ом	0,3 Ом	—
Резистор $R_с$	ПЭВ-7,5; 7,5 Вт; 20 Ом	ПЭВ-7,5; 7,5 Вт; 20 Ом	ПЭВ-7,5; 7,5 Вт; 20 Ом	
Конденсатор $C_р$	МБГЧ-1 500 В, 4 мкФ	МБГЧ-1 500 В; 4 мкФ	МБГЧ-1-1 750 В, 2 мкФ (2 параллельно)	—

Рис. IX-45. Схема выводов (*а*) и соединения вентилей в плече (*б*) выпрямительной установки электровоза ВЛ60к

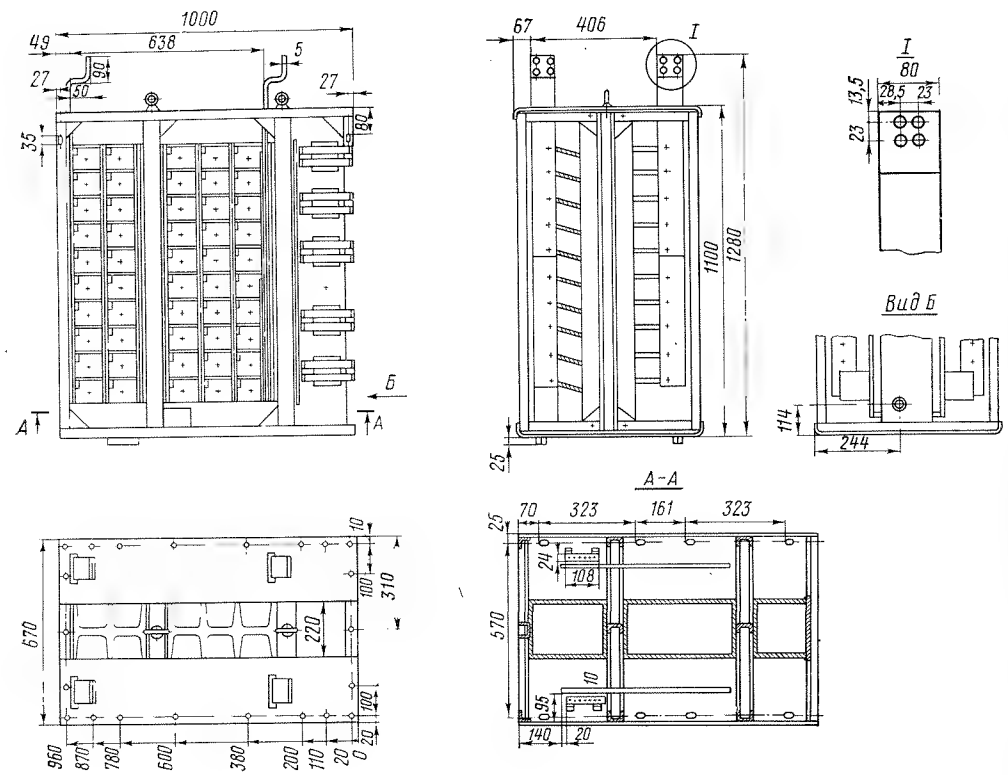


Рис. IX-46. Габаритные и установочные размеры выпрямительной установки ВУК-60-4

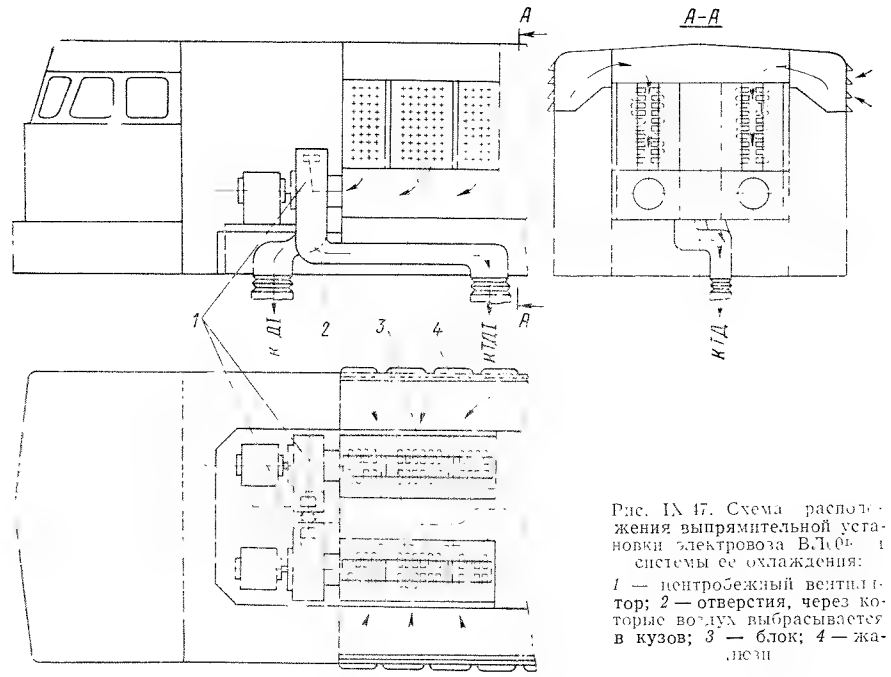


Рис. IX-47. Схема расположения выпрямительной установки электровоза ВЛ60к и системы ее охлаждения:

1 — центробежный вентилятор; *2* — отверстия, через которые воздух выбрасывается в кузов; *3* — блок; *4* — жалюзи

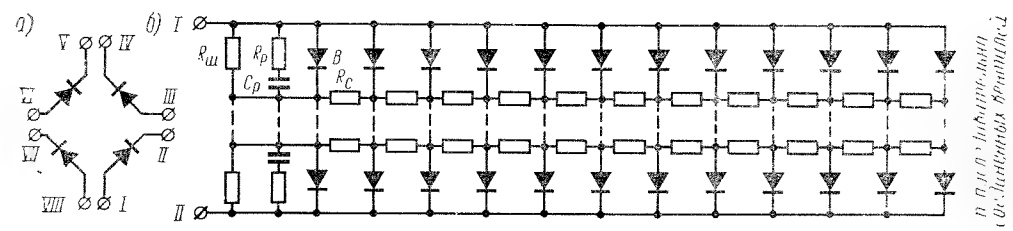
тили находятся в горизонтальных рядах, параллельно соединенные — в вертикальных. Ребра охладителей вентилей разных плеч расположены друг против друга внутри установки и находятся в потоке охлаждающего воздуха, проходящего сверху вниз (рис. IX-50).

На электровозе двойного питания ВЛ82 первого выпуска были смонтированы выпрямительные установки ВУК-6700, на электровозах с № 007—установки ВУК-6700Л. Конструктивно установка состоит из двух блоков, каждый из которых представляет конструктивное сочетание двух плеч моста. Вентили в плече (рис. IX-51) соединены по схеме с резисторами связи и общими контурами $R_ш$ и RC.

Охлаждение двух блоков выпрямительной установки осуществляется двумя мотор-вентиляторами, охлаждающими тяговые двигатели.

На электровозах ЧС4, начиная с № 012, смонтировано по две выпрямительные установки RV10.

Все параллельно включенные вентили соединены резисторами связи (рис. IX-52). Равномерное распределение обратных напряжений между последовательно соединенными вентилями и защита их от коммутационных перенапряжений обеспечи-



Тип установки	ВУК-4000	ВУК-4000М	ВУК-4000Д	ВУК-4000Л
Тип вентиля	ВКД-200-4	ВК2-200-7	ВЛ-200-8	ВЛ-200-8
Число последовательно соединенных вентилей	8	6	4	4
Резистор $R_ш$	ПЭВ-75; 75 Вт; 560 Ом	ПЭВ-75; 75 Вт; 560 Ом	ПЭВ-75; 75 Вт; 1500 Ом	—
Резистор $R_с$	0,3 Ом	—	0,3 Ом	—
Резистор $R_р$	ПЭВ-75; 7,5 Вт; 20 Ом	ПЭВ-7,5; 7,5 Вт; 20 Ом	ПЭВ-7,5; 7,5 Вт; 20 Ом	—
Конденсатор $C_р$	МБГЧ-1, 500 В; 4 мкФ	МБГЧ-1, 500 В, 4 мкФ	МБГЧ-1-1, 750 В, 2 мкФ (2 параллельно)	—

Рис. IX-48. Принципиальная схема выпрямительной установки ВУК-4000 (*а*) и одного плеча моста (*б*)

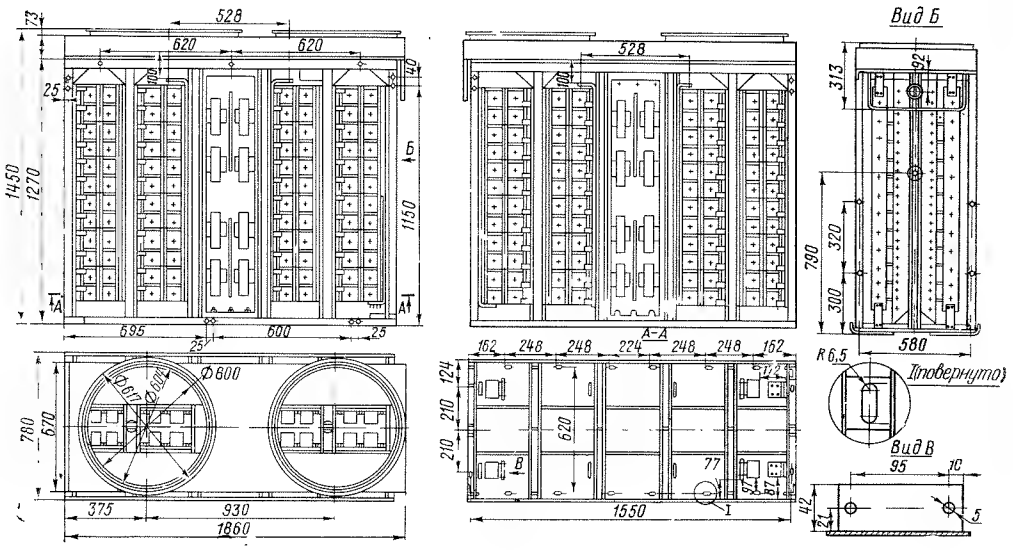


Рис. IX-49. Габаритные и установочные размеры выпрямительной установки ВУК-4000

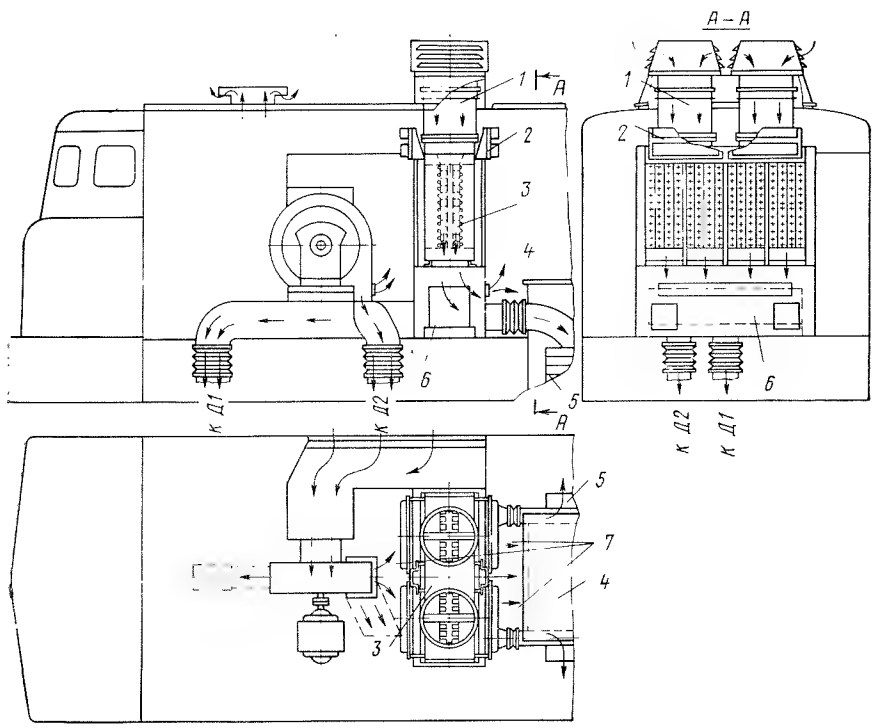


Рис. IX-50. Схема расположения выпрямительной установки электровоза ВЛ80к и системы охлаждения:

1 — вентиляторы; *2* — панель с шунтирующими элементами; *3* — выпрямительная установка; *4* — трансформатор; *5* — масляные холодильники трансформатора; *6* — сглаживающий реактор; *7* — отверстия для выброса воздуха в кузов

Рис. IX-51. Принципиальная схема одного плеча моста выпрямительной установки ВУК-6700Л:

В — вентиль ВКДЛ-200-8; *Ср* — конденсатор МБГЧ-1-1 750-2±10%; 4 мкФ, 750 В; *Rр* — резистор ПЭВ-7,5, Ом; *Rш* — резистор ПЭВ-75, 1500±5%; *Rс* — резистор связи, сопротивлением 0,25—0,3 Ом

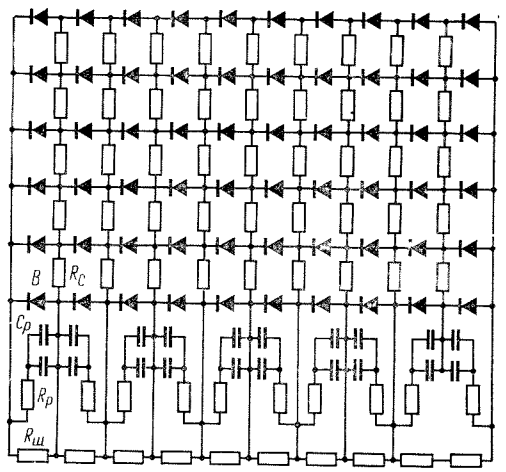
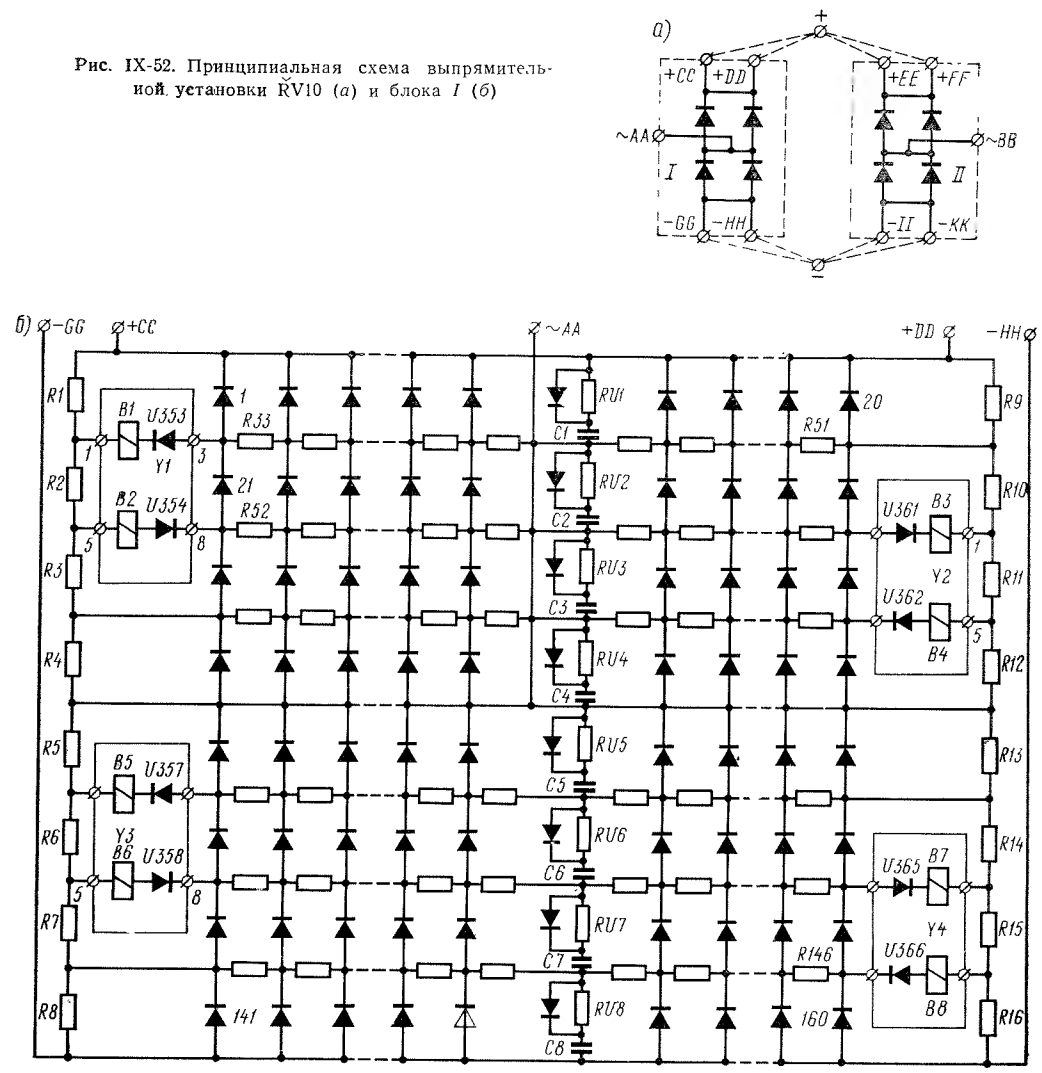


Рис. IX-52. Принципиальная схема выпрямительной установки RV10 (*а*) и блока *I* (*б*)



ваются подключением к каждому параллельному ряду контуров, состоящих из конденсаторов (8 мкФ), резисторов (5,6 Ом) и маломощных германиевых диодов. Германиевый диод улучшает свойства контура в начальный момент приложения к вентилю обратного напряжения.

Вентили в комплекте с охладителями, аппаратурой защиты и сигнализации, принадлежащие одной выпрямительной установке, размещены в металлическом шкафу. С каждой из двух сторон шкафа расположены два плеча моста (одно под другим). Соединенные параллельно вентили расположены в горизонтальных рядах, соединенные последовательно — в вертикальных. С каждой стороны шкафа по горизонтали смонтировано 20, а по вертикали — 8 рядов вентилей. Комплект из пяти охладителей крепится на вертикальных изолировочных плитах, смонтированных на остове шкафа.

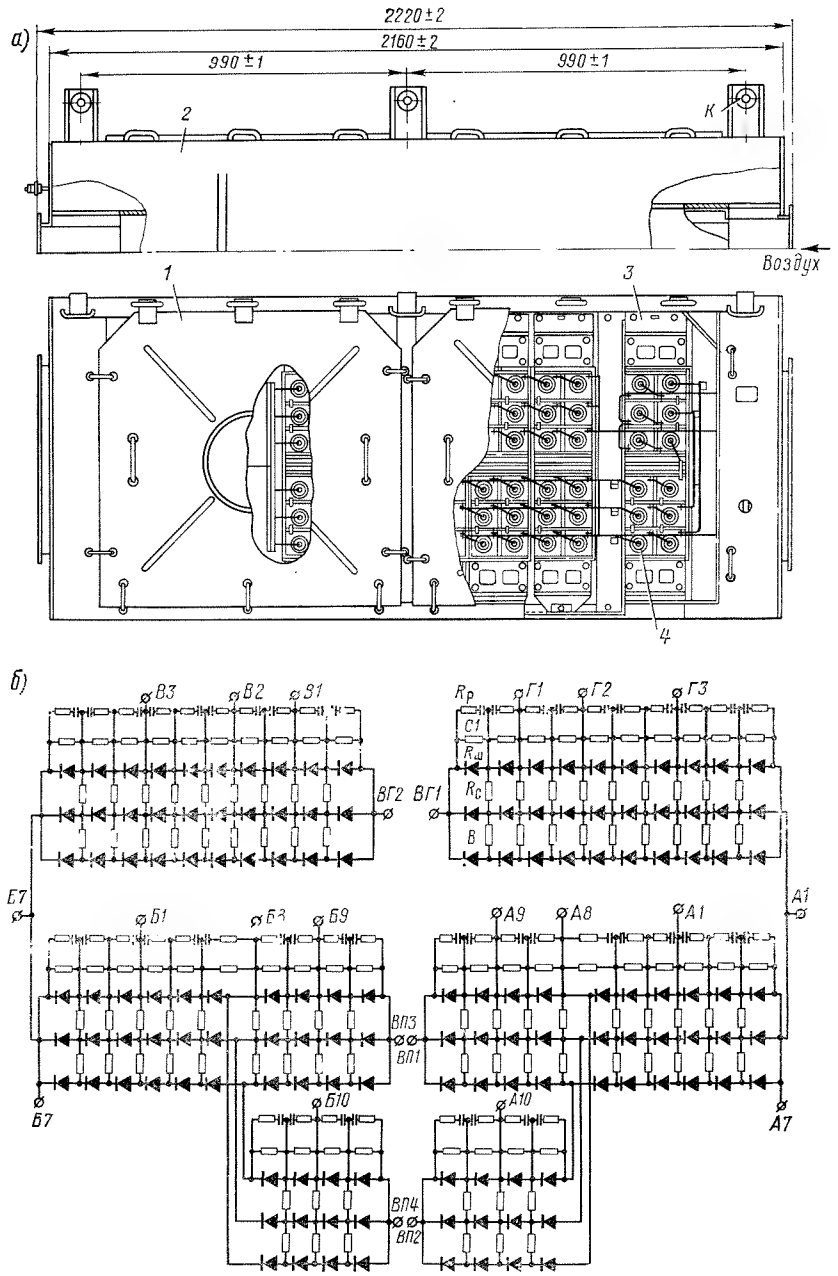


Рис. IX-53. Конструкция (*а*) и схема (*б*) выпрямительной установки УВП-1.
1 — крышка; *2* — каркас; *3* — блок охладителей; *4* — вентиль ВК2-200-6Б; $R_ш$ — резистор ПЭВ-25, 25 Вт, 1,5 кОм; $R_с$ — резистор связи сопротивлением 0,7 Ом±10%; $R_р$ — резистор ПЭВ-7,5, 7,5 Вт, 10 Ом; $C_р$ — конденсатор МБГЧ-1-1-500-2, 2мкФ, 500 В, *ВП1* — *ВП4* — вентильный переход

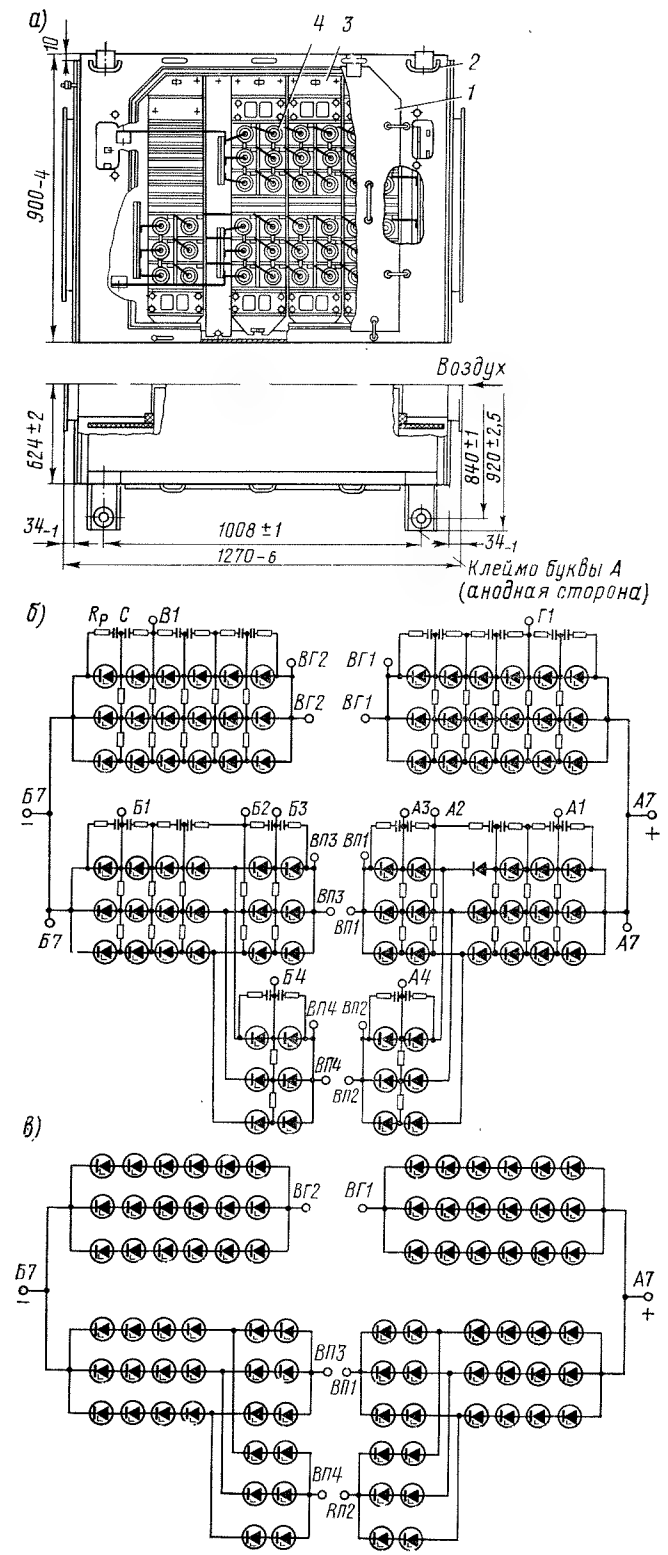


Рис. IX-54. Конструкция (*а*) и схемы (*б* и *в*) выпрямительной установки УВП-3:
1 — крышка; *2* — каркас; *3* — блок охладителей; *4* — вентиль ВЛ-200-8Б; $R_с$ — резистор сопротивлением 0,7 Ом±10%; $R_р$ — резистор ПЭВ-10, 10 Вт, 10 Ом; конденсатор МБГЧ-1-1-100-1, 1 мкФ, 1000 В

Нижнюю часть шкафа занимает выпрямительная установка вспомогательных машин, собранная по однофазной мостовой схеме. Ее основные технические данные: номинальное питающее напряжение 260 В, номинальное выпрямленное напряжение 235 В, номинальный выпрямленный ток 1000 А. В последнем горизонтальном ряду с каждой стороны шкафа размещено по два плеча однофазного моста, укомплектованные вентилями VK200/5. Плечо моста состоит из четырех параллельных электрически связанных ветвей, в каждой из которых включено последовательно по 2 вентиля. Равномерное распределение обратного напряжения по вентилям и защита от коммутационных перенапряжений осуществляются так же, как в тяговой выпрямительной установке.

Охлаждающиеся ребра всех радиаторов размещены в общем канале и обдуваются воздухом, подаваемым вентиляторами сверху вниз — под шкафом выпрямительной установки находятся два осевых вентилятора. Контроль наличия охлаждающего воздуха потока осуществляется воздухоструйными реле мембранного типа, установленными на корпусе вентиляторов.

Выпрямительные установки УВП-1 и УВП-3 собраны по однофазной мостовой схеме с вентильным переходом (рис. IX-53 и IX-54). Выпрямительные установки УВП-1 и УВП-3 заключены в пылебрызгонепроницаемые камеры. Для осмотра и очистки элементов с каждой стороны ВУ имеется по две съемные крышки в установке УВП-1 и по одной в установке УВП-3.

В установке УВП-1 размещено 12 блоков, каждый из которых состоит из 12 вентилей, расположенных в шесть горизонтальных рядов по два вентиля в каждом, из двух съемных панелей с четырьмя контурами *RC* и четырьмя резисторами $R_ш$. Блок подвешен в камере на двух направляющих пальцах и укреплен четырьмя болтами.

В установке УВП-3 размещено 6 блоков, каждый из которых состоит из 12 вентилей, и 2 блока из 6 вентилей каждый, расположенные в три горизонтальных ряда по два вентиля в каждом. Четыре контура *RC* расположены на двух съемных панелях. Каждый блок подвешен в камере на одном направляющем пальце и укреплен четырьмя болтами. Плечи моста, состоящие из трех ветвей и включенных параллельно им контуров *RC*, расположены по длине установки в три горизонтальных ряда.

Радиаторы вентилей при установке блоков в ВУ образуют канал воздушного охлаждения (рис. IX-55).

С 1970 г. установки УВП-3 выпускаются без контуров *RC* и датчиков пробоя вентилей.

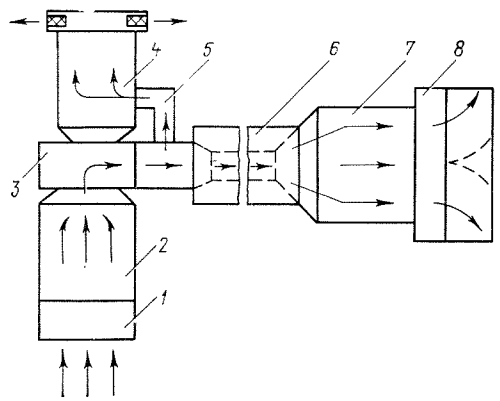


Рис. IX-55. Схема вентиляции выпрямительной установки на моторном вагоне электропоезда ЭР9П:

1 — заборная камера; *2* — камера с фильтрами; *3* — вентилятор; *4* — расщепитель фаз; *5* — воздухопровод; *6* — выпрямитель; *7* — сглаживающий реактор; *8* — теплообменник трансформатора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстрицкий Х. Я., Дубровский З. М., Ребрик Б. Н. Устройство и работа электровозов переменного тока. Изд. 3-е перераб. и доп. М., «Транспорт», 1973, 464 с.
2. Тихменев Б. Н., Трахтман Л. М. Подвижной состав электрических железных дорог. Теория работы электрооборудования, электрические схемы и аппараты. Изд. 2-е перераб. и доп. М., «Транспорт», 1969, 408 с.
3. Электропоезд ЭР9П. Руководство по эксплуатации. М., «Транспорт», 1969, 329 с.
4. Вентили силовые полупроводниковые кремниевые неуправляемые. ГОСТ 10662—69, М., 1969, 24 с.
5. Вентили силовые полупроводниковые кремниевые управляемые — тиристоры. ГОСТ 14069—68, М., 1969, 29 с.
6. Лавинные тиристоры ТЛ. Каталог 05.03.49.69. Информэлектро, 1969, 14 с.
7. Силовые кремниевые вентили (диоды, тиристоры, симисторы), Каталог 05.03. 51.70. Информэлектро. 1970, 51 с.
8. Тихменев Б. Н., Голованов В. А., Радченко В. Д., Рубчинский З. М. Электроподвижной состав с полупроводниковыми преобразователями. М., «Транспорт», 1967, 308 с.
9. Тушканов Б. А., Бочаров В. И., Крузе В. В., Сорин Н. А. Магистральные электровозы переменного тока ВЛ60 и ВЛ80. М., «Транспорт», 1964, 556 с.
10. Курочка А. Л., Янов В. П., Тушканов В. А., Кочураев Л. Д. Электрооборудование магистральных электровозов с полупроводниковыми выпрямителями. М., «Транспорт», 1968, 168 с.
11. Выпрямительные установки ВУК-60-4 и ВУК-4000 для электровозов. Информэлектро, каталог 05.03.45—69, 8 с.
12. Электровоз ВЛ80к. Инструкционная книга. М., «Транспорт», 1973. 432 с.
13. Рубчинский З. М., Тастевен Е. Э., Лынюк Л. С., Эглон Е. А. Устройство и работа моторвагонного подвижного состава. М., «Транспорт», 1969, 352 с.
14. Электровоз ВЛ60к. Инструкционная книга. М., «Транспорт», 1967, 332 с.

X. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ТЕПЛОВОЗОВ

X-1. МОТОР-КОМПРЕССОРЫ, МОТОР-ВЕНТИЛЯТОРЫ И ЭЛЕКТРОНАСОСЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Для привода компрессоров применяют двигатели постоянного тока последовательного возбуждения или асинхронные трехфазные двигатели переменного тока типов АС, АП и АЭ.

Охлаждение двигателей постоянного тока компрессоров в основном осуществляется самовентиляцией и только двигатели НБ-431А и НБ-100 имеют принудительную вентиляцию. Продолжительность включения 50%.

Остовы двигателей и их подшипниковые щиты, как правило, литые. В подшипниковых узлах установлены якорные подшипники. На всех двигателях, кроме НБ-404А, применены подшипники качения — шариковые или роликовые. Со стороны коллектора установлен фиксирующий подшипник, со стороны противоположной коллектору, — свободный.

Щеткодержатели обычно установлены на поворотной траверсе, что позволяет регулировать коммутацию двигателя. Сердечники якорей набраны из листов тонкой электротехнической стали, изолированных между собой лаковой пленкой толщиной 0,015 мм. В листах сердечников выштампованы пазы для обмотки и круглые отверстия для прохода охлаждающего воздуха. Сердечники якорей установлены непосредственно на вал двигателя (НБ-404А, НБ-431А, НБ-100, А3432/4) или на специальную втулку (1А-2629/2×2).

У двигателей компрессоров обмотка якоря волновая (за исключением двигателя 1А-2629/2×2, у которого обмотка петлевая). Корпусная изоляция обмоток выполнена на напряжение 3000 В. Крепление обмотки на сердечнике якоря как пазовой, так и лобовых ее частей производят стальной бандажной проволокой или стеклобандажами.

На моторвагонном подвижном составе постоянного тока применены для привода компрессоров двигатели типа ДК-406А, ДК-409В, на электропоездах переменного тока ЭР9П — двигатели усл. № 548 В (мощность 5 кВт при напряжении 220 В, токе 28А, частоте вращения 975 об/мин). На электровозах серии Ф для привода компрессоров применены электродвигатели МОРД180L мощностью 32,5 кВт, при напряжении 380 В, частоте вращения 2930 об/мин $\cos\varphi = 0{,}85$; на электровозах К установлены электродвигатели G1292—4Д мощностью 27,2 кВт при напряжении 220 В, токе 140 А, частоте вращения 2000 об/мин.

Конструкция и характеристики двигателей компрессоров показаны на рис. X-1 — X-4. Основные технические данные приведены в табл. X-1 и X-2.

Асинхронные двигатели компрессоров электроподвижного состава переменного тока выполнены на базе асинхронных электрических машин общепромышленного применения (типа АС), а электродвигатели АЭ92-4 (рис. X-5) спроектированы в тяговом исполнении специально для электровозов. Асинхронные двигатели для обеспечения надежного пуска компрессора рассчитаны на стоянку под током короткого замыкания в течение 10—15 с. На электровозах переменного тока устанавливают двигатели АЭ92-4. Они имеют стальной, сварной корпус, в котором укреплен статор, набранный из листов электротехнической стали, изолированных пленкой. Статор имеет открытые пазы, в которых размещается обмотка. Конструкция обмотки катушечная, жесткая. Лобовые части обмотки прикреплены к кольцам. С торцов корпус закрыт подшипниковыми щитами, отлитыми из стали. В щитах расположены подшипники качения.

Ротор — короткозамкнутый. На кольцах беличьей клетки имеются лопасти вентилятора для охлаждения машины. Пазы ротора скошены относительно продольной оси. Заливка пазов производится сплавом АКМ 12-4.

Основные характеристики двигателей переменного тока, применяемых для привода компрессоров, приведены в табл. X—3.

Для привода вентиляторов применяют двигатели последовательного возбуждения постоянного тока или асинхронные двигатели переменного тока

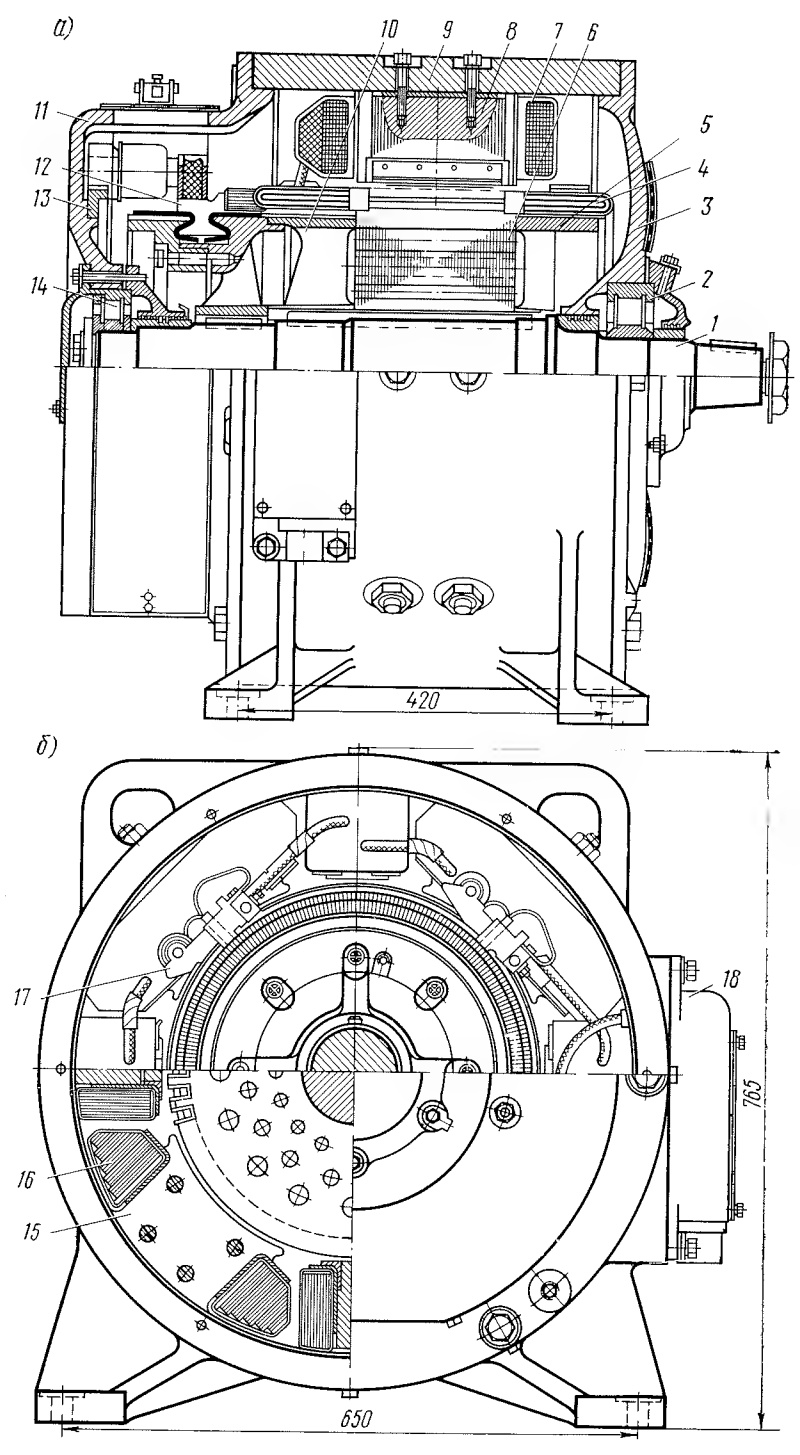


Рис. X-1. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы двигателя НБ-431А компрессоров КТ-6:

1 — вал якоря; *2, 14* — якорные подшипники; *3, 11* — подшипниковые щиты; *4* — обмотка якоря; *5, 10* — нажимные шайбы якоря; *6* — сердечник якоря; *7* — катушка добавочного полюса; *8* — сердечник добавочного полюса; *9* — корпус; *12* — коллектор; *13* — траверса; *15* — сердечник главного полюса; *16* — катушка главного полюса; *17* — щеткодержатель; *18* — коробка выводов

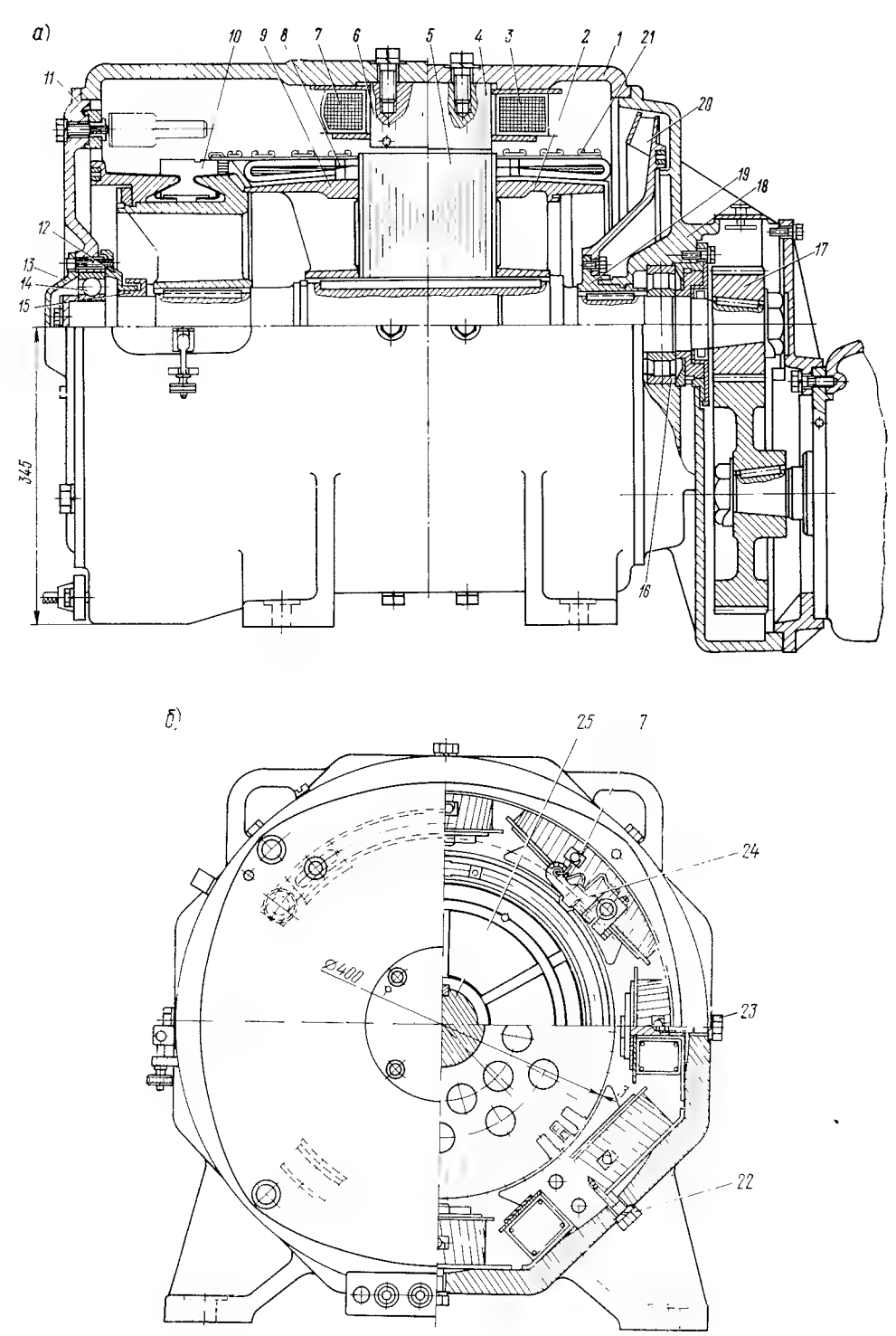


Рис. X-2. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы двигателя А3432/4:

1 — корпус; *2, 9* — нажимные шайбы якоря; *3* — катушка главного полюса; *4* — сердечник главного полюса; *5* — якорь; *6* — сердечник добавочного полюса; *7* — катушка добавочного полюса; *8* — обмотка якоря; *10* — коллектор; *11, 18* — подшипниковые щиты; *12* — крышка подшипника внутренняя; *13* — крышка подшипника наружная; *14, 16* — якорные подшипники; *15, 19* — втулки лабиринтные; *17* — редуктор; *20* — вентилятор; *21* — бандаж обмотки; *22* — болты крепления главных полюсов; *23* — болты крепления добавочных полюсов; *24* — щеткодержатель; *25* — вал

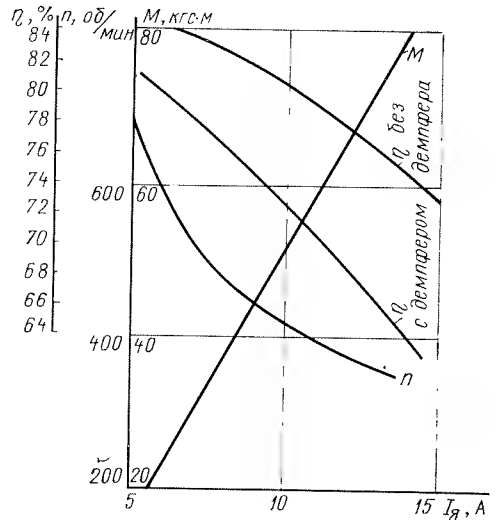


Рис. X-3. Рабочие характеристики двигателя НБ-431А:

M — вращающий момент на валу двигателя; *n* — частота вращения; $I_я$ — ток; η — к. п. д.

в зависимости от типа электроподвижного состава и системы вспомогательных машин, принятой на нем. На электровозы ВЛ10 устанавливают мотор-вентиляторы типа ТЛ-110М, на электровозы ВЛ82^м — НБ-107 и НБ-111. Двигатели ТЛ-110М представляют собой улучшенную конструкцию двигателей ТЛ-110. Для улучшения коммутации на них устанавливают щетки ЭГ-61, крепление добавочных полюсов производят немагнитными (латунными) болтами. Двигатели типов НБ-107 и НБ-111 спроектированы на базе соответственно генератора и двигателя преобразователя НБ-436, их устанавливают взамен двигателей ЭТВ-20 и НБ-101. В двигателях ТЛ-110М, НБ-107 и НБ-111 в обмотке якорей применена изоляция типа ВЭС2, в обмотках полюсов изоляция «Монолит 2».

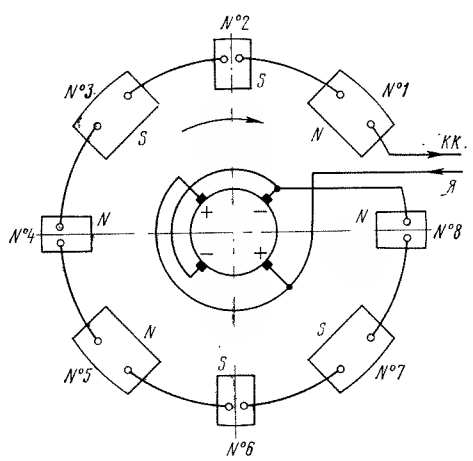


Рис. X-4. Соединение обмоток двигателя НБ-431А (вид со стороны коллектора электродвигателя)

На электровозах переменного тока ВЛ60^к и ВЛ80^к первых выпусков устанавливали асинхронные электродвигатели АП, на электровозах ВЛ80^к последнего выпуска и на электровозах ВЛ80^т — двигатели АЭ92-4. На электровозах К для охлаждения тяговых двигателей, маслоохладителя, тормозных резисторов установлены двигатели пульсирующего тока, G892-4Д и G1292-4Д последовательного возбуждения напряжением 220 В. Эти двигатели имеют соответственно мощность 14 и 21,6 кВт, ток 75 и 114А, частоту вращения 1800 и 2000 об/мин. На электровозах Ф для привода вентиляторов применены асинхронные электродвигатели на напряжение 380 В: NИ 32/20 — для центробежных и NA 125/В — для осевых вентиляторов. Электродвигатели NИ 32/20 и NA 125/В соответственно имеют мощность 25,8 и 3 кВт, частоту вращения — 2940 и 2900 об/мин.

Мощность вентиляторов на валу

$$N = \frac{0{,}736\,QH}{60\,\eta \cdot 75}\ \text{кВт},$$

где η — к. п. д. вентилятора;

Q — расход воздуха для охлаждения оборудования, м^3/мин;

H — напор, мм вод. ст.

Электронасосы обеспечивают принудительную циркуляцию трансформаторного масла в системе охлаждения трансформаторов. Для охлаждения трансформаторов на электровозах применены электронасосы ЭЦТ-63-10, на электропоездах — ЭЦТ-16-10. Эти электронасосы представляют собой асинхронные двигатели, на валу которых установлено и закреплено рабочее колесо насоса. В корпусе двигателя предусмотрено направляющее устройство для циркуляции масла, чем обеспечивается отвод тепла от его нагретых частей.

Конструкция двигателей вентиляторов и электронасосов показана на рис. X-6—X-11, а их основные технические данные приведены в табл. X-3—X-5.

X-2. МОТОР-ГЕНЕРАТОРЫ (ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ) ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Мотор-генераторы возбуждения (преобразователи) состоят из высоковольтного двигателя, включенного на напряжение контактной сети, и низковольтного генератора постоянного тока (возбудителя), подающего напряжение на обмотки возбуждения тяговых двигателей при рекуперативном торможении.

На электровозах ВЛ8 установлены преобразователи НБ-429А и НБ-436, на электровозах ВЛ10 вначале устанавливали преобразователи ТЛ-113, потом НБ-436, НБ-436А и НБ-436М и с 1974 г. устанавливают преобразователи НБ-436В, обеспечивающие расширение зоны рекуперации электровозов.

Таблица X-1

Основные технические данные электродв игателей компрессоров электроподвижного состава постоянного тока и электровозов ВЛ82

Показатели	Электродвигатели типов				
	НБ-404А	НБ-431А НБ-431М	НБ-100	ДК-406А	ДК-409В
Серия электроподвижного состава	ВЛ23	ВЛ8, ВЛ10, ВЛ82^м	ВЛ82	С$^р_3$	ЭР2
Напряжение, В	3000	3000	3000	1500	1500
Мощность, кВт	13,5	21/20,4*	21	5,5	5
Ток, А	6	9,5	9,2	5	4,4
Частота вращения, об/мин	900	440	1240	950	1020
Сопротивление постоянно включенного демпферного резистора, Ом	40	27	35	18	18
К. п. д. (без демпферного резистора), %	80,9	79,6/78,2*	85,2	—	76
Количество главных полюсов	4	4	4	4	4
» добавочных полюсов	4	4	4	—	—
» щеткодержателей	4	4	4	4	2
Воздушный зазор между главным полюсом и якорем, мм	3	3/3,3*	3	2,25	2
То же между добавочным полюсом и якорем, мм	3	5/6*	5	—	—
Второй зазор в цепи добавочных полюсов, мм	2,0	—/2*	4	—	—
Масса двигателя, кг	670	1085	886	320	365
Тип подшипника со стороны коллектора	3612	8092317К1	8092317	—	308
То же со стороны, противоположной коллектору	—	3032417	3032417	—	8032310
Якорь					
Диаметр сердечника наружный, мм	354	423	423	324	327
То же внутренний, мм	115	120	120	185	75
Длина сердечника, мм	150	180	180	108	108
Окружная скорость якоря, м/с	16,7	9,75	27,5	16,1	17,4
Марка стали сердечника	Э12	Э13	Э13	Э12	Э12
Толщина средних листов, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Количество пазов	45	49	49	39	39
Размеры паза, мм:					
высота	28,1	28,1	22	24,9	28
ширина	10,8	11	13,4	12,4	12,6
Шаг волновой обмотки:					
по пазам	1—12	1—13	1—13	1—10	1—10
по коллектору	1—158	1—172	1—172	1—137	1—137
Количество катушек	45	49	49	39	39
» витков в секции	7	7	4	6	6
» сторон секций в пазу	14	14	14	14	14
» эффективных проводников в пазу	98	98	56	84	84
Марка провода	ПЭЛШД	ПЭЛШД	ПЭЛШКД	ПБД или ПЭЛБО	ПСДТ
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	А	В
Диаметр провода, мм:					
неизолированного	0,86	0,86	1	1,04	1,0
изолированного	1,06	1,06	1,2	1,31	1,2
Плотность тока в обмотке, А/мм^2	5,17	8,18	5,86	—	2,8
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	16,5	22,1	9,35	7,66	8,2
Масса обмотки, кг	12,5	17,2	13,5	12	12
Количество витков бандажа в передней лобовой части	35	30	40	30	35
То же в задней лобовой части	35	30	40	30	35

Показатели	Электродвигатели типов				
	НБ-404А	НБ-431А НБ-431М	НБ-100	ДК-406А	ДК-409В
Диаметр бандажной проволоки (сечение ленты), мм	1,2	1,5/0,2×20*	0,2×20	1,2	0,2×30
Марка стали вала	20ХН3А	Сталь 45	—	Сталь 45	Сталь 40
Длина вала, мм	1114,5	790	—	907	582
Диаметр вала наибольший, мм	115	120	—	56	75
Коллектор					
Диаметр по рабочей части, мм	310	390	390	285	285
Диаметр по петушкам, мм	318	408	408	296	296
Длина рабочей части, мм	32	32	32	32	32
Количество пластин	315	343	343	273	273
Коллекторное деление, мм	3,09	3,57	3,57	3,3	3,3
Толщина межламельной изоляции, мм	1,0	1,1	1,1	0,8	0,8
Окружная скорость коллектора, м/с	14,6	8,95	25,3	14,2	15,2
Щеточное перекрытие, мм	2,59	2,8/5,6*	2,8	2,4	3,0
Напряжение между пластинами (среднее), В	38,1	35	35	—	—
Щетки					
Марка	ЭГ-2а	ЭГ-2а/ЭГ-61*	ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-2а
Размеры, мм	10×25	10×25/20×25*	10×25	8×25	10×25
Ток на одну щетку, А	3,75	4,75	4,6	2,5	4,4
Плотность тока в щетке, А/см²	1,5	1,9/0,95*	1,84	1,25	1,76
Главные полюсы					
Материал сердечника	Ст2	Ст2	Ст2	Ст2	Э12
Толщина листов сердечника, мм	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0
Размер сердечника, мм:					
высота	104,5	103	65,25	68,25	67,5
ширина	—	150	150	163/95*2	152/98*2
длина	154	180	180	108	108
Количество витков на полюс	749	564	392	642	600
Марка провода	ПБД	ПБД/ПСД*	ПСД	ПБД	ПСДТ
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А/F*	F	А	А
Диаметр провода, мм:					
неизолированного	1,62	1,81	2,1	1,74	1,56
изолированного	1,89	2,1	2,4	2,01	1,78
Плотность тока в обмотке, А/мм²	2,91	3,7	2,365	—	2,3
Длина среднего витка, мм	660	845	843	—	600
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	16,4	12,4	6,7	12,1	13,2
Масса обмотки, кг	35,4	50	42,7	36	25,2
Марка кабеля вывода из катушки	ПС4000	ПС4000	—	ПС3600	ПС3600
Сечения кабеля, мм²	6	6	—	6	6
Добавочные полюсы					
Материал сердечника	Ст2	Ст2	Э13	—	—
Размеры сердечника, мм:					
высота	97,5	102/100,5	89,5	—	—
ширина	29	36	28	—	—
длина	150	180	180	—	—
Количество витков на полюс	400	393	230	—	—
Марка провода	ПБД	ПБД/ПСД*	ПСД	—	—

Показатели	Электродвигатели типов				
	НБ-404А	НБ-431А НБ-431М	НБ-100	ДК-406А	ДК-409В
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А/F*	F	—	—
Диаметры провода, мм:					
неизолированного	1,62	1,81	2,1	—	—
изолированного	1,89	2,1	—	—	—
Плотность тока в обмотке, А/мм²	2,91	3,7	2,66	—	—
Длина среднего витка, мм	450	562	552	—	—
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	6	5,74	2,6	—	—
Масса обмотки, кг	12,9	23,1	16,4	—	—
Марка кабеля вывода из катушки	ПС4000	ПС4000	—	—	—
Сечение кабеля вывода, мм²	6	6	—	—	—

* В числителе данные для электродвигателя НБ-431А, в знаменателе для НБ-431М. Электродвигатели НБ-431М устанавливают на электровозах ВЛ82м и ВЛ10 начиная с 1973—1974 гг. Электродвигатели НБ-431М на электровозах ВЛ82м работают при пульсирующем токе. Поэтому в них увеличены воздушные зазоры в цепи главных и добавочных полюсов, изменена марка и размеры электрощеток. Они имеют усиленную изоляцию на полюсах — «Монолит 2» моноблочной конструкции, в якоре — изоляция ВЭС-2 (стеклослюдинитовая лента на эпоксидном компаунде № 110); крепление обмотки якоря производят стеклобандажной лентой вместо стальной проволоки.

*2 В числителе — ширина сердечника по дуге, в знаменателе — под катушкой.

Таблица X-2

Основные технические данные двигателей компрессоров электровозов ЧС

Показатели	Электродвигатели типов			
	1А-2629/2	1А-3432/4	6А-3432/4, 9А-3432/4	5А-2135/4, 11А-2135/4
Серия электровоза	ЧС1, ЧС3	ЧС2	ЧС2, ЧС2т	ЧС4
Напряжение, В	2600	3000	3000	220
Мощность, кВт	12,5	17	21	17
Ток, А	5,6	7,15	8,3	93
Частота вращения, об/мин	2400	1350	1700	2800
Сопротивление постоянно включенного демпферного резистора, Ом	80,6	42	20	—
Количество главных полюсов	2	4	4	4
Количество добавочных полюсов	2	4	4	4
Воздушный зазор между главным полюсом и якорем, мм	5	4	4,5	2,0
То же между добавочными полюсами и якорем, мм	8	6	5,5	5
Количество щеткодержателей	2	4	4	4
Масса двигателя, кг	480	930	950	390

Показатели	Электродвигатели типов			
	1А-2629/2	1А-3432/4	6А-3432/4, 9А-3432/4	5А-2135/4, 6А-2135/4, 11А-2135/4
Якорь				
Диаметр сердечника, мм	250	400	400	190
Длина сердечника, мм	130	150	150	190
Количество пазов	33	55	55	35
Размеры паза, мм:				
высота	27	29,4	29,4	21,4
ширина	12,2	11,9	11,9	7,3
Шаг по пазам	1—17	1—15	1—15	1—10
» » коллектору	1—2	1—193	1—193	1—53
Количество проводников в пазу	98	56	56	6
Диаметр или сечение проводника, мм:				
неизолированного	0,9	0,8×1,8	0,8×1,8	1,5×7
изолированного	1,1	1,17×2,17	1,17×2,17	1,9×7,4
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	В
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	13,47	3,76	3,76	—
Длина вала, мм	—	822	822	657
Диаметр вала наибольший, мм	—	113	113	75
Коллектор				
Диаметр рабочей части, мм	235	390	390	165
Длина рабочей части коллектора, мм	62	40	40	50
Количество пластин	231	385	385	105
Окружная скорость коллектора, м/с	27,7	34,9	24,2	24,2
Щетки				
Размеры щетки, мм	16×12,5	12,5×12,5×30	12,5×12,5×30	10×20×28
Ток на одну щетку, А	2,8	3,6	6,7	—
Плотность тока в щетке, А/см²	1,4	2,3	2,9	—
Главные полюсы				
Количество витков на полюс	653	326	326	21,5
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	А
Диаметр или сечение проводника, мм:				
неизолированного	1,6	2,36	2,36	2,2×15
изолированного	—	2,74	2,74	—
Сопротивление обмоток при 20° С, Ом	10,4	3,68	3,68	0,02652
Масса обмотки, кг	—	37,6	37,6	15,7
Добавочные полюсы				
Количество витков на полюс	483	248	248	17,5
Диаметр или сечение провода, мм:				
неизолированного	1,6	2,36	2,36	1,8×15
изолированного	1,85	2,74	2,74	—
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	А
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	5,45	1,76	1,76	0,02168
Масса обмотки, кг	—	18	18	8,6

а)

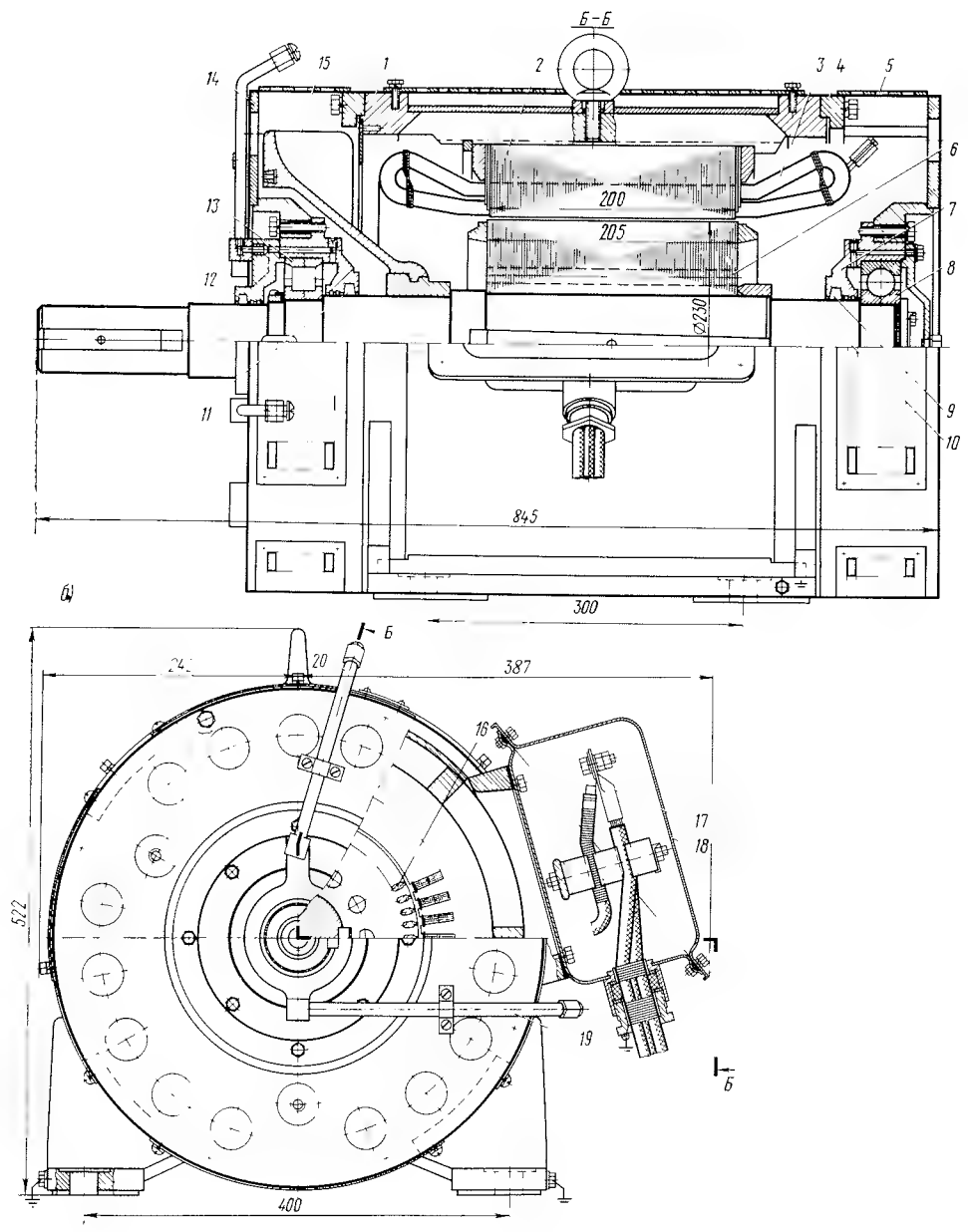


Рис. X-5. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы двигателя АЭ92-4:
1 — корпус; *2* — статор; *3* — обмотка статора; *4, 5* — сетка; *6* — ротор; *7* — крышка внутренняя; *8, 13* — подшипники; *9, 11, 12* — уплотнения; *10* — вал; *14* — щит подшипниковый; *15* — вентилятор; *16* — стержень ротора; *17* — вывод; *18* — коробка выводов; *19, 20* — маслопроводы

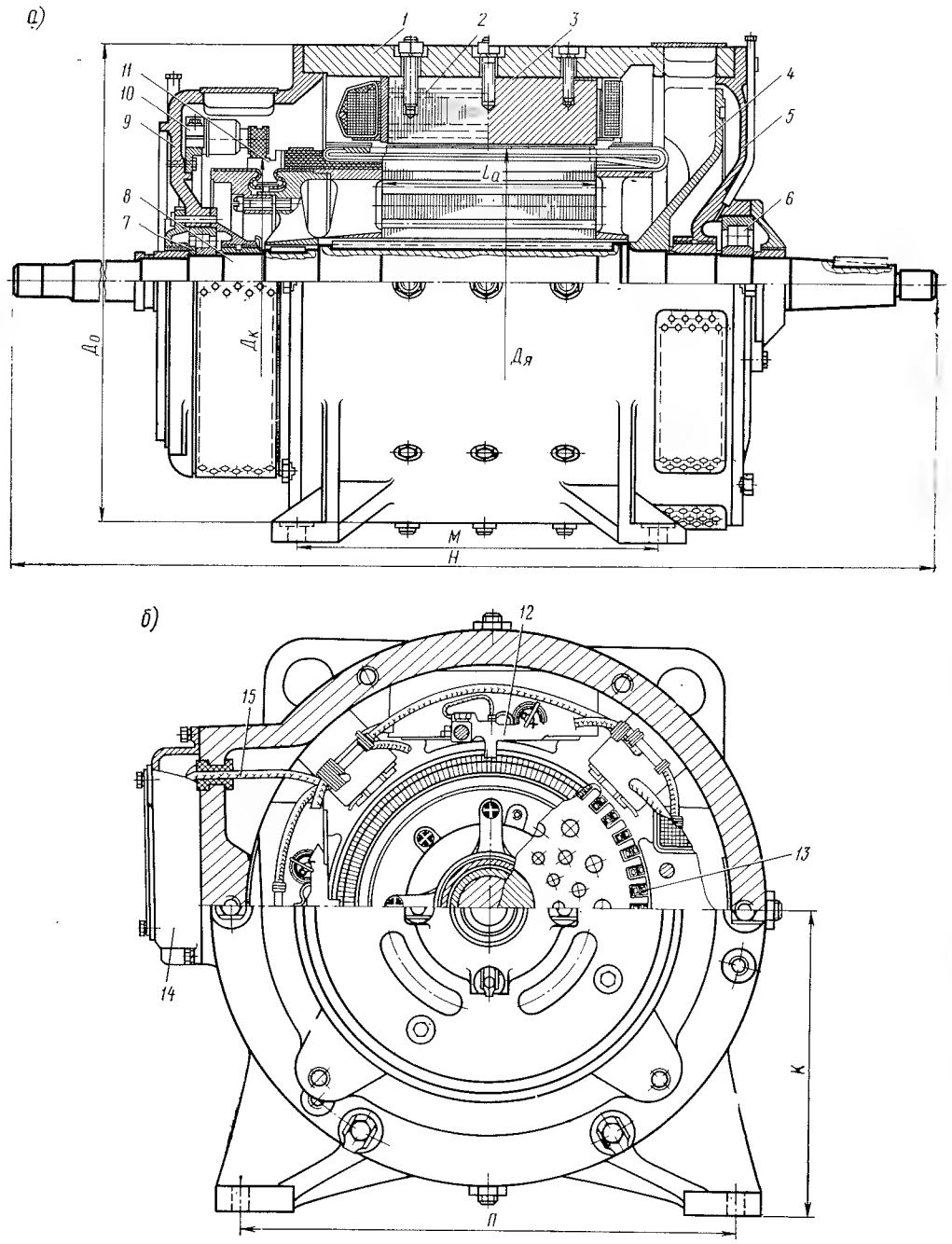
Таблица X-3

Основные технические данные асинхронных электродвигателей компрессоров, вентиляторов и электронасосов электроподвижного состава

Показатели	Электродвигатели типов								
	АЭ92-4	АП82-4	АП81-4	АС81-6	АС82-4	АО63-2 (ВЭ6)	ДОЖ42-2	А42-4 (ЭЦТ63/10)	АОМ32-4
Серия электроподвижного состава	ВЛ60к, ВЛ80к, ВЛ80т	ВЛ60к	ВЛ60к	ВЛ60к	ВЛ60к, ВЛ80к	ВЛ80к	ВЛ60	ВЛ60к, ВЛ80к	ЭР9П
Напряжение, В	380	380	380	380	380	380	380	380	220
Частота, Гц	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Мощность, кВт	40	55	40	25*	55*4	14	4,4	2,8	1,5
Ток, А	90	107	79,4	51,5	106,2	27	9,5	6,1	7,62
Частота вращения, об/мин	1405	1460	1470	925	1380	2950	2870	1420	1390
Коэффициент мощности	0,79	0,86	0,85	0,88	0,915	0,86	0,88	0,84	0,74
К. п. д.	0,85	0,905	0,90	0,84	0,862	0,88	0,8	0,8	0,70
Количество полюсов	4	4	4	6	4	2	2	4	4
Скольжение, %	6,4	2,7	2,7	7,5	8	2,3	—	5,3	—
Скос пазов, мм	15,15	18	18	7	18	—	1	—	1
Воздушный зазор, мм	1,1	0,6	0,6	0,55	0,6	0,75	0,6	0,3	0,3
Масса двигателя, кг	390	400	360	360	400	—	35	94*2	23,5
Отношение максимального момента к номинальному	4	2,2	2,1	2,58	3,3	2,9	2,3	2,5	2
Отношение пускового момента к номинальному	4	1,8	1,9	2,48	3,5	1,5	1,8	2,0	1,9
Отношение пускового тока к номинальному	7,5	6,5	5,8	4,9	6,1	6,5	6,8	5,5	4
Статор									
Диаметр наружный, мм	368	423	423	423	423	327	182	182	145
Диаметр внутренний, мм	230	265	265	300	265	180	104	112	89
Длина сердечника, мм	200	180	130	130	180	137	105	116	90
Марка стали сердечника	Э3100	Э12 или Э11	Э12 или Э11	Э12 или Э11	Э12 или Э11	Э12 или Э11	Э11	Э11	Э3100
Толщина листов сердечника, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Показатели	Электродвигатели типов								
	АЭ92-4	АП82-4	АП81-4	АС81-6	АС82-4	АО63-2 (ВЭ6)	ДОЖ42-2	А42-4 (ЭЦТ63/10)	АОМ32-4
Количество пазов	48	48	48	72	48	36	24	36	24
» проводников в пазу	6	72	64	48	72	66	43	36	71
Количество параллельных ветвей	1	4	2	2	4	2	1	1	—
Количество параллельных проводников	1	3	4	3	3	3	1	1	—
Шаг обмотки	1—11	1—11	1—11	1—11	1—11	1—13	1—12, 2—11	1—8, 1—10, 1—12	1—8, 2—7
Класс изоляции по нагревостойкости	Н	В	В	В	В	Н	Н	В	В
Марка провода	ПСДК	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСДК	ПСДКТ	ПСД	ПСДКТ
Диаметр или сечение провода, мм: неизолированного	3,28×4,7	1,45	1,5	1,45	1,45	1,35	1,04	1,16	0,74
изолированного	3,66×5,1	1,74	1,79	1,74	1,74	1,60	1,24	1,43	0,92
Сопротивление фазы при 15° С, Ом	0,0576*3	0,045	0,075	0,139	0,045	0,115	1,383	1,91	4,98
Средняя длина витка, мм	1020	1050	950	820	1050	870	660	540	215
Масса медного провода, кг	21,5	30,0	26,0	24	—	15	2,7	3,72	—
Ротор									
Диаметр наружный, мм	227,8	263,8	263,8	298,9	263,8	178,5	103	111,4	88,4
Диаметр внутренний, мм	90	85	85	85	85	50	36	36	32
Длина сердечника, мм	205	185	135	135	185	140	108	118	92
Марка стали сердечников	Э3100	Э12 или Э11	Э12 или Э11	Э12 или Э11	Э12 или Э11	Э12 или Э11	Э11	Э11	—
Толщина листов, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	—
Количество пазов	56	58	58	58	58	28	30	26	30
Масса заливки (без крыльев), кг	3,5	5,95	4,95	3,8	4,0	—	—	1,08	—

* Мощность указана при режиме ПВ 50% и 40 пусках в течение 1 ч. *2 Указана масса электронасоса ЭЦТ63/10. *3 Сопротивление указано для 20° С. *4 Мощность указана при ПВ 15%.



Тип	$Д_о$	$Д_я$	$Д_к$	Н	М	L_a	П	К
ТЛ—110	740	423	390	1468	550	340	650	397
НБ—430 А	725	423	390	1428	490	275	660	400

Рис. X-6. Продольный (а) и поперечный (б) разрезы двигателей НБ-430А и ТЛ-110 электровозов ВЛ8, ВЛ23 и ВЛ10:

1 — остов; *2* — главный полюс; *3* — добавочный полюс; *4* — вентилятор; *5, 9* — подшипниковые щиты; *6, 7* — якорные подшипники; *8* — вал; *10* — траверса; *11* — коллектор; *12* — щеткодержатель; *13* — обмотка якоря; *14* — коробка выводов; *15* — выводы

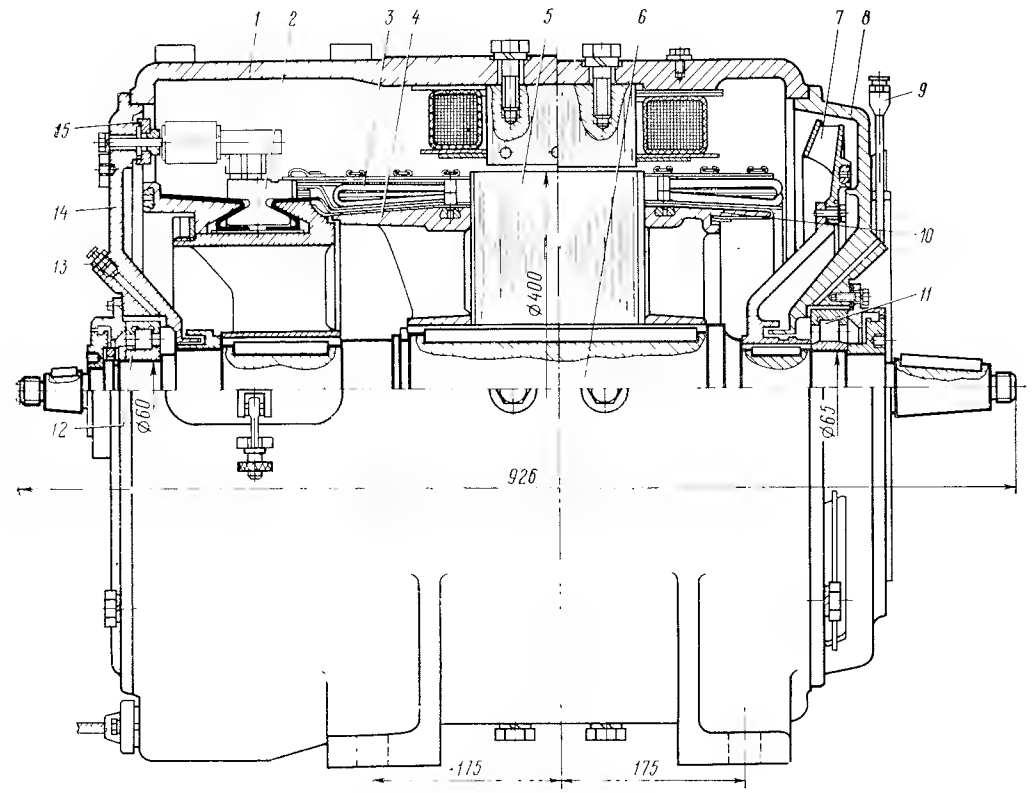


Рис. X-7. Продольный разрез двигателя вентилятора 2А-3432/4 электровоза ЧС2:

1 — остов; *2* — коллектор; *3* — обмотка якоря; *4* — шайба якоря передняя; *5* — сердечник якоря; *6* — вал; *7* — вентилятор; *8, 14* — подшипниковые щиты; *9, 13* — маслопроводы; *10* — шайба якоря задняя; *11, 12* — якорные подшипники; *15* — траверса

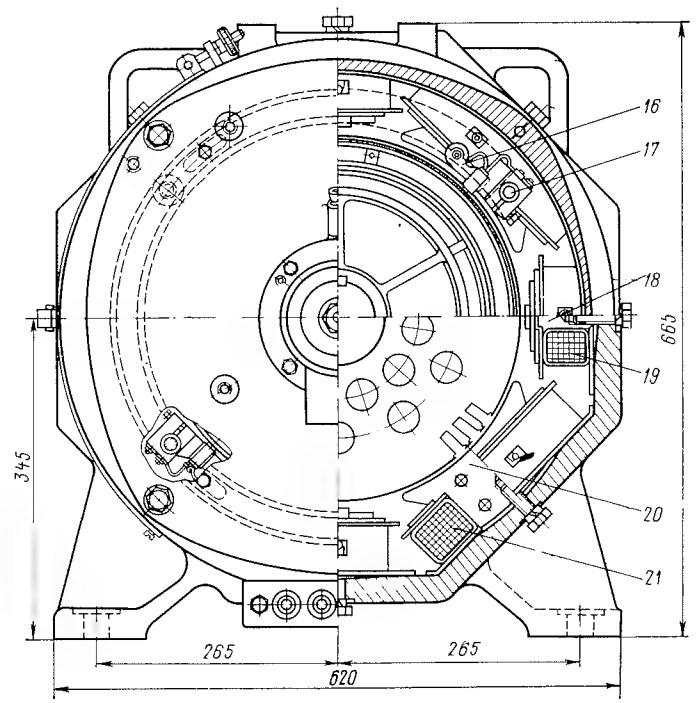


Рис. X-8. Поперечный разрез двигателя вентилятора 2А-3432/4 электровоза ЧС2: *16* — щеткодержатель; *17* — палец щеткодержателя; *18* — сердечник добавочного полюса; *19* — катушка добавочного полюса; *20* — сердечник главного полюса; *21* — катушка главного полюса

Таблица X-4

Основные технические данные электродвигателей вентиляторов электровозов

Показатели	Электродвигатели типов						
	НБ-430А	ТЛ-101	ТЛ-110, ТЛ-110М	НБ-111	НБ-101	ЭТВ-20	НБ-107
Серия электровоза	ВЛ8, ВЛ23	ВЛ10	ВЛ10	ВЛ82	ВЛ82	ВЛ82	ВЛ8?
Напряжение, В	3000	3000	3000	3000	1500	200	160
Мощность, кВт	37,2	50	53,1	30	36,0	13,7	82
Ток, А	14,5	19	20,6	13	35	80	615
Частота вращения, об/мин	875	980	990	1360	1310	2950	1700
Сопротивление постоянно включенного демпферного резистора, Ом	30,6	—	—	12,0	7,8	0,39	—
Режим работы	Продолжительный						
К. п. д, (без демпферного резистора), %	84,2	89	87,8	81	84	-	83,1
Количество главных полюсов	4	4	4	4	4	4	6
Количество добавочных полюсов	4	4	4	4	4	4	6
Воздушный зазор, мм:							
между главным полюсом и якорем	2,5	5,0	4	3	4	1,35	3,5
между добавочным полюсом и якорем	4,5	5	6/5,7*	7,5	5	2,95	3,0
между добавочным полюсом и остовом	2,5	1	3/3,3*	4,8	5	—	1,5
Количество щеткодержателей	4	4	4	4	4	4	6
Масса машины, кг	1406	1150	1590	1000	915	185	1025
Якорь							
Диаметр сердечника наружный, мм	423	423	423	423	423	195,3	423
То же внутренний, мм	120	120	120	120	120	55	120
Длина сердечника, мм	275	180	340	150	150	140	115
Окружная скорость, м/с	19,35	21,7	21,9	30,0	21,9	30,3	37,7
Марка стали сердечника	Э12	Э13	Э13	Э13	Э13	Э13	Э13
Толщина средних листов, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Количество пазов	49	43	43	49	49	31	57
Размеры паза, мм:							
высота	24,4	40	25,5	23	22,7	29,15	41,3
ширина	12,1	11,1	11,1	14,1	11	10,4	10,2
Тип обмотки	Волновая					Петлевая	
Шаг обмотки:							
по пазам	1—13	1—11	1—11	1—13	1—13	1—9	1—10
по коллектору	1—172	1—172	1—172	1—172	1—123	1—47	1—2
Количество катушек	49	43	43	49	49	—	57
» витков в секции	3	4	2	4	2	1	1
» сторон секций в пазу	14	8	16	14	10	6	8
» эффективных проводников в пазу	42	64	32	56	20	24	8
» параллельных проводников	2	—	—	—	—	4	2
Марка провода	ПЭЛШД	ПСД	ПСД* ПЭТВСД	ПЭТВСД	ПСД	ПСД	ПЭТВСД
Класс изоляции по нагревостойкости	А	В	В	В	В	В	В
Диаметр или сечение провода, мм:							
неизолированного	1,0	1,45	1,45/1,4*	1,16	1×2,83	1,68	1,56×8
изолированного	1,25	1,74	1,74/—	—	1,31×3,14	1,98	—
Средняя длина проводника, мм	697	620	765/690*	573	590	—	366
Плотность тока, А/мм²	4,46	5,75	6,24/6,7*	6,15	6,69	4,5	4,17
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	4,12	4,36	2,77/2,7*	6,52	0,94	0,0252	0,00322
Масса обмотки, кг	22,7	—	15,4/17,9*	13,5	14,2	5,25	43,5
Количество витков бандажа:							
в передней лобовой части обмотки	39	45	50	2×20	75	—	95
в задней лобовой части обмотки	39	45	50	60	60	—	90
на сердечнике	4×10	3×10	4×15	60	54	—	3×23
Диаметр проволоки или сечение ленты бандажа, мм	1,5	1,6; 0,15×18	0,2×20	0,2×20	0,15×18	0,15×18	0,1×20
Габаритные размеры вала, мм:							
длина	1428	1333	1488	1330	1010	—	—
наибольший диаметр	120	—	120	130	120	—	—
Коллектор							
Диаметр по рабочей части, мм	390	390	390	390	320	125	380
» » петушкам, мм	408	408	408	408	—	—	415
Длина рабочей части, мм	32	32	32	32	39	70	200
Количество пластин	343	343	343	343	245	93	228
Коллекторное деление, мм	3,57	3,57	3,57	3,57	4,1	4,23	5,24
Толщина межламельной изоляции, мм	1,1	1,1	1,0	1,0	1,3	0,8	0,8
Окружная скорость, м/с	16,3	20	20,2	27,8	21,9	19,2	33,9
Щеточное перекрытие, мм	2,8	2,8	2,8	5,6	2,44	2,37	3,06
Напряжение между пластинами (среднее), В	35	35	35	35	24,5	8,6	4,02
Щетки							
Марка	ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-61	ЭГ-61	ЭГ-2А	ЭГ-74	ЭГ-61
Размеры щетки, мм	10×25	10×25	10×25	2×10×25	10×32	10×12,5	16×32
Ток на одну щетку, А	7,25	10	10,3	10,3	17,5	—	41,5
Плотность тока под щеткой, А/см²	2,8	4,0	4,1	1,3	5,47	8	8,01

Продолжение табл. X-4

Показатели	Электродвигатели типов						
	НБ-430А	ТЛ-101	ТЛ-110, ТЛ-110М	НБ-111	НБ-101	ЭТВ-20	НБ-107
Главные полюсы							
Толщина листов сердечника, мм	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	—	—
Размеры сердечника, мм:							
высота	103,5/100,5*2	—	104,5/96*2	—	104,5×96*2	56/—*2	—
ширина	180/152*3	—	182/140*3	—	182/140*3	98/53*3	—
длина	180	200	350	—	160	140	—
Количество витков на полюс	337	327	287	357	186	25	10
Марка провода	ПБД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	МГМ
Класс изоляции по нагревостойкости	А	В	В/F*	F	В	F	F
Сечение или диаметр провода (неизолированного), мм	1,95×3,8	2,26×3,8	2,26×3,8	1,68×3,05	3,8	4,4×5,9	(3,8×22) 2
Плотность тока в обмотке, А/мм²	1,95	2,34	2,54	2,33	2,8	3,25	3,7
Длина среднего витка, мм	1080	953	1200/1150*	760	880	489	454
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	3,5	2,7	2,850	3,88	1,01	0,0453	0,00333
Масса меди обмотки, кг	110	—	116/100*	49,8	69,2	12	43,2
Сечение вывода катушки, мм²	6	6	6	—	—	—	—
Добавочные полюсы							
Размеры сердечника, мм:							
высота	101	45	99,5	86,2	98,5	54,4	126,5
ширина (в месте установки катушки)	36	28	28	36	32	28	35
длина	275	180	340	150	160	120	115
Количество витков на полюс	189	234	120	235	90	14	8
Марка провода	ПБД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	МГМ
Класс изоляции по нагревостойкости	А	В	В/F*	F	В	F	F
Сечение или диаметр провода (неизолированного), мм	1,56×3,53	1,95×3,8	1,95×3,8	1,68×3,05	3,28	4,4×5,9	(4,1×15,6) 3
Плотность тока в обмотке, А/мм²	2,64	2,64	2,86	2,65	4,14	3,25	3,25
Длина среднего витка, мм	732	620	888/867*	563	460	479	330
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	1,89	1,415	1,02	1,89	0,37	0,0194	0,00183
Масса меди обмотки, кг	29	—	31/28*	24,4	13,1	5,2	28,4
Сечение вывода, мм²	6	6	6	—	16	—	—

* В числителе — для ТЛ-110, в знаменателе — ТЛ-110М.
*2 В числителе — высота полюса в средней части, в знаменателе — под катушкой.
*3 В числителе — ширина полюса по дуге сердечника, в знаменателе — под катушкой.

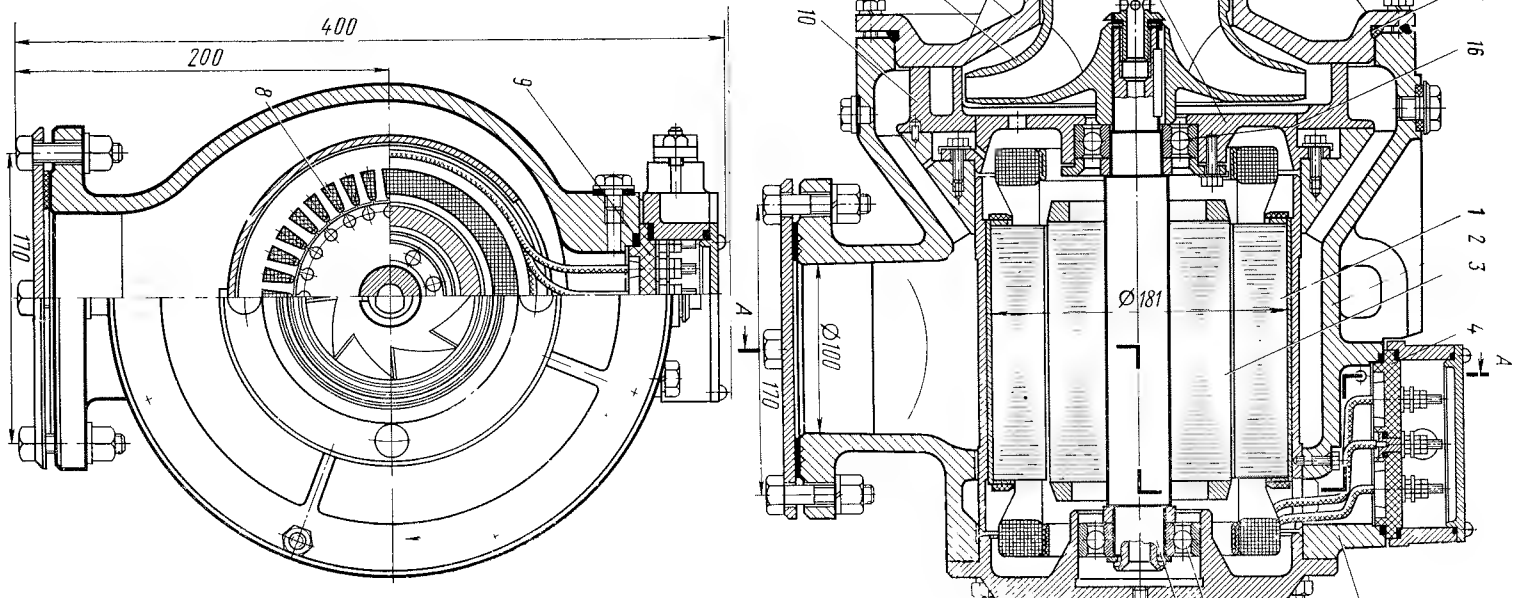


Рис. X-9. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы электронасоса ЭЦТ63/10: *1* — пакет статора; *2* — корпус; *3* — ротор; *4* — коробка выводов; *5*, *14* — подшипниковые щиты; *6*, *16* — якорные подшипники; *7* — вал; *8* — обмотка статора; *9* — панель выводов; *10* — выпрямляющий аппарат; *11* — рабочее колесо; *12* — всасывающий патрубок; *13* — обтекатель; *15* — кольцо уплотнительное

Таблица X-5

Основные технические данные электродвигателей вентиляторов электровозов ЧС1, ЧС2, ЧС3 и ЧС4

Показатели	Электродвигатели типов			
	4А-2934/4, А-2934/4	2А-3432/4	3А-3432/4, 8А-3432/4	А-2732/4
Серия электровоза	ЧС3, ЧС1	ЧС2	ЧС2	ЧС4
Напряжение, В	1500	3000	3000	220
Мощность, кВт	15/13*	24	28	25
Ток, А	11,5/10*	9,6	11,5	135
Частота вращения, об/мин	1500/1250*	1500	1650	1800
Сопротивление постоянно включенного демпферного резистора, Ом	5	20	20	—
Количество главных полюсов	4	4	4	4
» добавочных полюсов	4	4	4	4
Воздушный зазор, мм:				
между главным полюсом и якорем	3	4	4	3,5
между добавочным полюсом и якорем	6	5,5	5,5	5
Количество щеткодержателей	2	4	4	4
Габаритные размеры подшипника со стороны коллектора, мм:				
высота	—	31	31	31
диаметр наружный	110	130	130	130
» внутренний	50	60	60	60
Габаритные размеры подшипника со стороны, противоположной коллектору, мм:				
высота	—	33	33	31
диаметр наружный	120	140	140	130
» внутренний	55	65	65	60
Масса машины, кг	520	800	680	340
Якорь				
Диаметр сердечника, мм:				
наружный	300	400	400	270
внутренний	75	100	100	75
Длина сердечника, мм	180	160	160	155
Толщина листов сердечника, мм	55	0,5	0,5	0,5
Количество пазов	37	55	55	43
Размеры паза, мм:				
высота	28	29,4	29,4	23,8
ширина	12,8	11,9	11,9	8,8
Шаг волновой обмотки:				
по пазам	1—10	1—15	1—15	1—12
по коллектору	1—130	1—193	1—193	1—65
Размеры провода, мм:				
неизолированного	0,9×1,6	0,8×1,8	0,8×1,8	2×8
изолированного	1,3×2	1,17×2,17	1,17×2,17	2,4×8,4
Количество проводников в пазу	56	56	56	6
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	В
Габаритные размеры вала, мм:				
диаметр	85	113	113	88
длина	895	921	921	797
Коллектор				
Диаметр рабочей части, мм	280	390	390	220
Длина рабочей части, мм	45	40	40	—
Количество коллекторных пластин	259	385	385	129
Окружная скорость, м/с	18	30,75	33,8	20,7

* В числителе данные для электродвигателей 4А-2934/4, в знаменателе — для А-2934/4.

Продолжение табл. X-5

Показатели	Электродвигатели типов			
	4А-2934/4, А-2934/4	2А-3432/4	3А-3432/4, 8А-3432/4	А-2732/4
Щетки				
Количество щеток в щеткодержателе	2	2	2	2
Размеры щетки, мм	12,5×16	22,5×12,5×30	12,5×12,5×30	12,5×25×28
Плотность тока под щеткой, А/см²	2,5	3,1	3,7	10,8
Главные полюсы				
Количество витков на полюс	297	326	279	24
Диаметр или сечение провода, мм:				
неизолированного	2,60	2,36	2,36	18×3,2
изолированного	2,95	2,74	2,74	—
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	В
Сопротивление обмоток полюсов при 20 °С, Ом	3,0	3,68	3,08	0,0176
Масса обмоток, кг	—	37,6	30,8	28,6
Добавочные полюсы				
Количество витков на полюс	165	248	248	20,5
Диаметр или сечение провода, мм:				
неизолированного	2,6	2,36	2,36	1,7×25
изолированного	2,95	2,74	2,74	—
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	В
Сопротивление обмоток при 20 °С, Ом	1,14	1,76	1,76	0,0132
Масса обмоток, кг	—	18	18	12,2

Преобразователи НБ-436 (всех индексов) представляют собой самовентилирующиеся машины защищенного исполнения. Возбуждение двигателей смешанное с согласным включением независимой и последовательной обмоток, возбуждение генераторов независимое с встречным включением малоамперной и многоамперной обмоток.

Конструкция, схема соединения обмоток и рабочие характеристики мотор-генераторов (преобразователей) показаны на рис. X-12 — X-14, а их основные технические данные приведены в табл. X-6.

В преобразователях НБ-436, НБ-436А, НБ-436М, НБ-436В и НБ-429 унифицированы сердечники якорей, коллекторы, подшипниковые щиты с подшипниками, траверсы, щеткодержатели, щетки и другие узлы и детали. В преобразователях НБ-436М и НБ-436В значительно увеличена мощность путем применения в обмот-

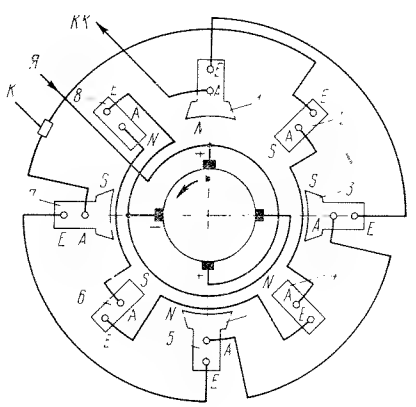


Рис. X-10. Схема соединения обмоток двигателей НБ-430А и ТЛ-110:

1, 3, 5, 7 — главные полюсы; *2, 4, 6, 8* — добавочные полюсы; *Я* — начало обмотки якоря; *КК* — конец обмотки возбуждения; *К* — вывод обмотки (только у ТЛ-110)

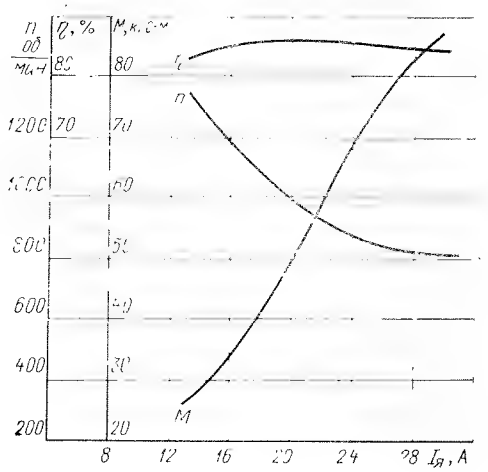


Рис. X.11. Рабочие характеристики двигателя ТЛ-110 вентилятора

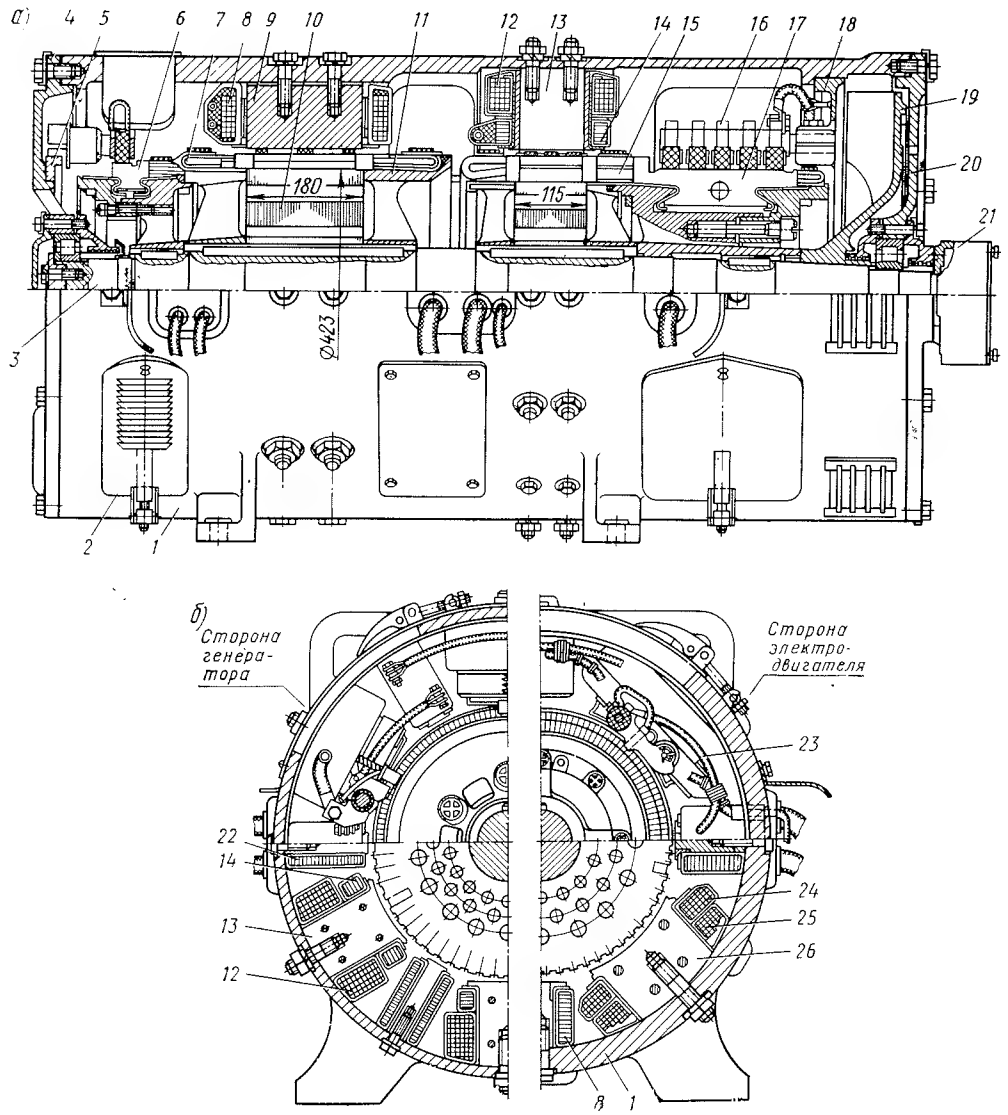


Рис. X-12. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы мотор-генератора (преобразователя) НБ-436А электровоза ВЛ10:

1 — остов; *2* — крышка коллекторного люка; *3* — вал; *4, 20* — подшипниковые щиты; *5* — траверса двигателя; *6* — коллектор двигателя; *7* — волновая обмотка якоря двигателя; *8* — катушка добавочного полюса; *9* — сердечник добавочного полюса; *10* — сердечник якоря двигателя; *11* — задняя нажимная шайба; *12* — катушка независимого возбуждения главного полюса генератора; *13* — сердечник главного полюса; *14* — катушка противокомпаундной обмотки генератора; *15* — обмотка петлевая с уравнителями якоря генератора; *16* — щеткодержатель генератора; *17* — коллектор генератора; *18* — траверса генератора; *19* — вентилятор; *21* — реле оборотов; *22* — катушка добавочного полюса генератора; *23* — соединительные кабели; *24* — катушка обмотки последовательного возбуждения главного полюса двигателя; *25* — катушка обмотки независимого возбуждения двигателя; *26* — сердечник главного полюса двигателя

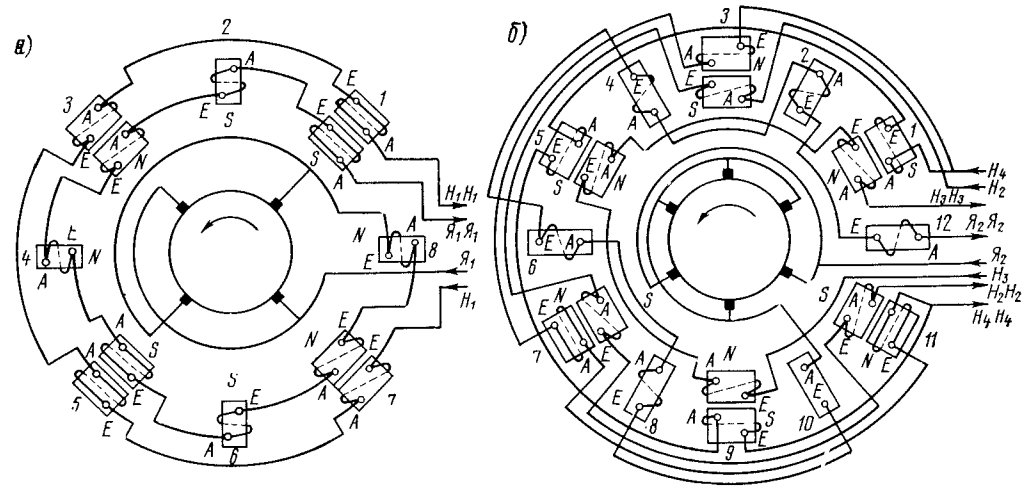


Рис. X-13. Схема соединения обмоток мотор-генератора (преобразователя) НБ-436А:

а — двигателя; *б* — генератора: *1, 3, 5, 7, 9, 11* — главные полюсы; *2, 4, 6, 8, 10, 12* — добавочные полюсы; *E* — начало обмотки катушки; *A* — конец обмотки катушки; *N* — северный полюс; *S* — южный полюс; $Я_1$, $Я_2$, H_1, H_2, H_3, H_4 — начало обмоток; K_1K_1, $Я_1Я_1$, $Я_1Я_2$, H_2H_2, H_3H_3, H_4H_4 — концы обмоток

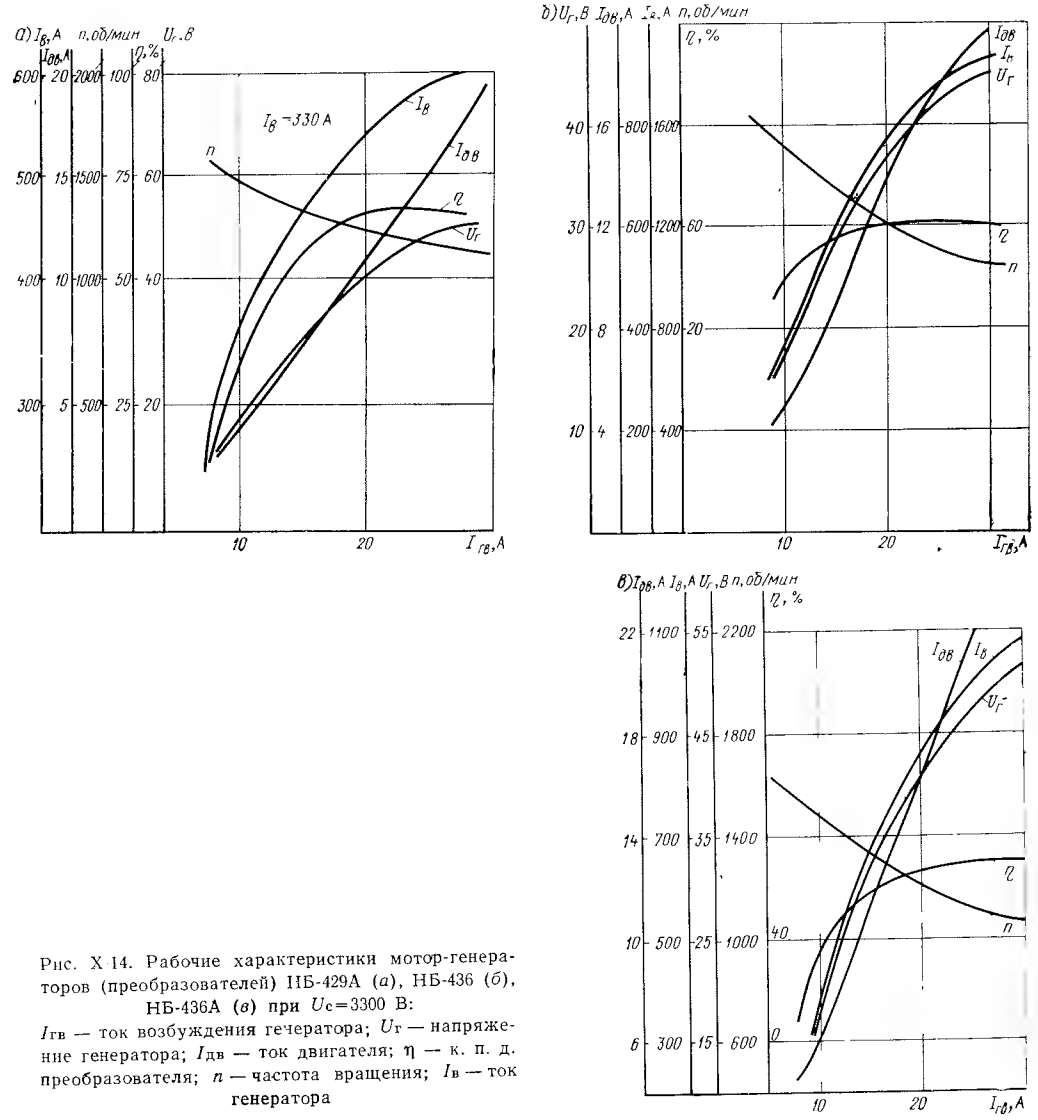


Рис. X-14. Рабочие характеристики мотор-генераторов (преобразователей) НБ-429А (*а*), НБ-436 (*б*), НБ-436А (*в*) при U_c=3300 В:

$I_{гв}$ — ток возбуждения генератора; $U_г$ — напряжение генератора; $I_{дв}$ — ток двигателя; η — к. п. д. преобразователя; *n* — частота вращения; $I_в$ — ток генератора

13 Зак. 256

Таблица X-6

Основные технические данные мотор-генераторов (преобразователей) электровозов

Показатели	Преобразователи типов							
	НБ-429А		НБ-436		НБ-436А, НБ-436М, НБ-436В		ТЛ-113	
	Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор
Серия электровоза	ВЛ8		ВЛ10, ВЛ8		ВЛ10		ВЛ10 первый выпуск	
Напряжение, В	3300	37	3300	37	3300	38	3300	38
Мощность, кВт	29,5	22,2	38,5	28,5	40,7	30,4	41,5	30,4
Ток, А	11	600	14	770	15	800	15,2	800
Частота вращения, об/мин	1200	1200	1200	1200	1200/1290*	1200/1290*	1320	1320
К. п. д., % (без демпферного резистора)	84,2	73,7	87	74,1	86,2	70,7	85,6	75,8
Режим работы	40 мин		40 мин		40 мин/часовой*		40 мин	
Количество полюсов:								
главных	4	6	4	6	4	6	4	6
добавочных	4	6	4	6	4	6	4	6
Воздушный зазор, мм:								
между главным полюсом и якорем	3	3,5	3,3	3,5	3	3,5	3,5	6
между добавочным полюсом и якорем	5	4,5	5	4,5	5/4,7*	4,5/3*[2]	5,5	5,5
в цепи добавочных полюсов	0,5	—	0,5	—	0,5/2,5*	—/1,5*[2]	1,0	—
Количество щеткодержателей (узлов)	4	6	4	6	4	6	4	6
Масса машины, кг	1900		1900		1900		2100	
Сопротивление демпферного резистора, Ом	10,8	—	10	—	10	—	6	—
Якорь								
Диаметр сердечника, мм:								
наружный	423	423	423	423	423	423	423	423
внутренний	120	120	120	120	120	120	120	120
Длина сердечника, мм	180	115	180	115	180	115	270	115
Окружная скорость, м/с	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6/28,6*	26,6/28,6*	—	—
Толщина средних листов из стали Э13, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Размеры паза, мм:								
высота	22	41,3	22	41,3	22/23*	41,3	25,5	43
ширина	13,4	10,2	13,4	10,2	13,4/14,1*	10,2	11,1	11,7

Количество пазов	49	57	49	57	49	57	43	57
Шаг обмотки по пазам	1—13	1—10	1—13	1—10	1—13	1—10	1—11	1—10
» по коллектору	1—172	1—2	1—172	1—2	1—172	1—2	1—172	1—2
Количество катушек	49	57	49	57	49	57	43	57
» витков в катушке	4	1	4	1	4	1	2	1
Количество сторон катушки в пазу	14	8	14	8	14	8	16	8
Количество эффективных проводников в пазу	56	8	56	8	56	8	32	16
Количество параллельных проводников	—	2	—	2	—	2	—	2
Диаметр или сечение провода, мм:								
неизолированного	1,0	1,56×8	1,16	1,56×8	1,16	1,56×8	1,45	1,95×8,6
изолированного	1,25	—	1,4	—	1,4	—	1,74	—
Марка провода обмотки	ПЭЛШД	МГМ	ПЭЛШКД	МГМ	ПЭТВСД	МГМ/ ПЭТВСД*[2]	ПСД	МГМ
Класс изоляции по нагревостойкости	А	В	А	В	В	В	В	В
Плотность тока в обмотке, А/мм²	7,0	4,07	6,6	5,22	7,07	5,36	4,5	4,0
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	9,35	0,00376	6,31	0,00331	6,31	0,00331	2,55	0,00256
Масса обмотки, кг	13,5	43,5	18,4	43,5	18,4	43,5	—	—
Количество уравнительных соединений	—	57	—	57	—	57	—	57
Шаг уравнительных соединений	—	1—77	—	1—77	—	1—77	—	1—77
Размеры меди уравнительных соединений, мм	—	1,56×5,9	—	1,56×5,9	—	1,56×5,9	—	1,56×5,9
Масса уравнительных соединений	—	2,0	—	2,0	—	2,0	—	2,0
Количество витков бандажа:								
в передней лобовой части	43	18	60	60	60	60	—	100
в задней лобовой части	43	38	60	70	60	70	55	100
в пазовой части	25	3×10	3×15	3×15	3×15	3×15	4×15	2×38
Диаметр проволоки бандажа или размер сечения стеклобандажной ленты, мм	1,5	1,5	0,15×18	0,15×18	0,15×18	0,15×18	0,15×18	
Длина вала, мм	1390±0,5		1390±0,5		1390±0,5		1390±0,5	
Диаметр вала (наибольший) мм	135		135		135		135	
Коллектор								
Диаметр по рабочей поверхности, мм	390	380	390	380	390	380	390	380
Диаметр по петушкам, мм	408	415	408	415	408	415	408	415
Длина рабочей части, мм	32	200	32	200	32	200	32	200
Количество пластин	343	228	343	228	343	228	343	228
Щеточное перекрытие, мм	2,8	3,06	2,8	3,06	2,8	3,06	2,8	4,76
Напряжение (среднее) между коллекторными пластинами, В	38,5	0,947	38,5	1,0	38,5	1,0	37,4	1,0

Продолжение табл. X-6

Показатели	Преобразователи типов							
	НБ-429А		НБ-436		НБ-436А, НБ-436М, НБ-436В		ТЛ-113	
	Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор	Двигатель	Генератор
Толщина межламельной изоляции, мм	1,0	0,8	1	0,8	1,0	0,8	1,1	0,8
Окружная скорость коллектора, м/с	24,6	23,9	24,6	23,9	24,6/26,3*2	23,9/25,7*2	26,7	26
Коллекторное деление	3,57	5,24	3,57	5,24	3,57	5,24	5,2	3,6
Щетки								
Количество щеток в узле щеткодержателей	1	5	1	5	1	5	1	5
Марка щетки	ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-2а*3	ЭГ-2а	ЭГ-2а	ЭГ-2а
Размеры щеток, мм	10×25	16×32	10×25	16×32	10×25	16×32	10×25	2/12,5×40
Ток на одну щетку, А	5,5	40	7	50	7,7	53	7,5	67
Плотность тока в щетке, А/см²	2,2	7,8	2,8	10	3,1	10,4	3	6,7
Главные полюсы								
Толщина листов (из стали Ст2), мм	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Размеры сердечника, мм:								
высота	105,5	127,5	105,5	127,5	105,5	127,5	94,5	127,5
ширина под катушку	150	90	150	90	150	90	140	90
по дуге	182	122	182	122	182	122	182	122
длина	180	115	180	115	180	115	290	115
Обмотка последовательного возбуждения двигателя или многоамперная генераторов								
Количество витков на полюс	130	2	102	2	95	2*4	135	2
Марка провода	ПБД	МГМ	ПБД	МГМ	ПБД/ПСД*	МГМ	ПСД	МГМ
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	А	А/F*	А/F*	В	В
Размеры провода (неизолированного), мм	1,68×3,05	3,8×22	1,68×3,05	3,8×22	1,68×3,05	3,8×22	1,56×3,8	4,1×15,6
Плотность тока в обмотке, А/мм²	2,24	1,8	2,24	1,8	3,06	2,41	3,91	6,62
Сопротивление обмотки полюсов при 20 °С, Ом	1,54	0,000321	1,22	0,00231	1,08	0,0023*4	1,7	0,000875
Масса обмоток, кг	20	13	12,6	9	12/14*	9*4	—	—
Обмотка независимого возбуждения двигателя или малоамперная генераторов								
Количество витков на плюс	234	280	234	280	234	280	169	234
Марка провода	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД/ПСД*	ПБД/ПСД*	ПСД	ПСД
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	А	А/F*	А/F*	В	В
Диаметр или сечение провода (неизолированного), мм	1,81×2,1	2,83	1,81×2,1	2,83	1,81×2,1	2,83	3,28	3,28
Плотность тока в обмотке, А/мм²	2,73	1,49	2,9	1,66	2,9	1,75	2,98	1,54
Сопротивление обмотки полюсов при 20° С, Ом	4,0	0,627	4,0	0,6	4,0	0,6	1,557	1,58
Масса обмоток, кг	26	48,5	23	53	23/26,5*	53	—	—
Сечение вывода, мм²	6	6	6	6	6	6	6	6
Добавочные полюсы								
Размеры сердечника, мм:								
высота	103	126,5	103	126,5	103/101,3*	126,5	92	128
ширина	36	22	36	22	36	22/35*	28	38
длина	180	115	180	115	180	115	270	170
Количество витков на полюс	219	8	219	8	219	8	108	8
Марка провода	ПБД	МГМ	ПБД	МГМ	ПБД/ПСД*	МГМ	ПСД	МГМ
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	В	А/F*	В/F*	В	В
Диаметр или сечение провода (неизолированного), мм	1,68×3,05	4,1×15,6	1,68×3,05	4,1×15,6	1,68×3,05	4,1×15,6	1,81	6×20
Плотность тока в обмотке, А/мм²	2,24	3,17	2,24	4,01	3,06	4,23	5,91	3,35
Сопротивление обмотки полюсов при 20° С, Ом	1,772	0,00205	1,772	0,00202	1,772/1,59*	0,00202* 0,00174	1,975	0,002
Масса обмотки, кг	22	27,8	19	31	19/21,6*	31/28,3	—	—
Марка материала вывода	ПС4000	МГМ	ПС4000	МГМ	ПС4000	МГМ	ПС4000	МГМ
Сечение вывода, мм²	6	4,1×15,6	6	4,1×15,6	6	4,1×15,6	6	6×20

* В числителе — для НБ-436А, в знаменателе — для НБ-436М и НБ-436В.
*2 В числителе для преобразователей НБ-436А, в знаменателе — для преобразователей НБ-436М и НБ-436В.
*3 На двигателях преобразователей последних выпусков устанавливают щетки марки ЭГ-61.
*4 Для генераторов преобразователей НБ-436В количество витков 1; сопротивление обмотки 0,00132 Ом, масса обмоток полюсов 3 кг.

ках машины более нагревостойкой изоляции и проводов ПСД в обмотках полюсов и ПЭТВСД в обмотке якоря, а также улучшением конструкции отдельных узлов, обеспечивающим более интенсивное охлаждение нагретых частей машины. В этих преобразователях в обмотках полюсов генератора и двигателя применена изоляция «Монолит 2», в якорях генератора и двигателя — корпусная изоляция типа ВЭС-2 (стеклослюдинитовая лента, пропитанная эпоксидным компаундом К-110). Крепление обмотки якоря осуществляется стеклобандажной лентой в лобовых и пазовой частях. Обмотка двигателя — волновая, генератора — петлевая.

В преобразователях НБ-436В в отличие от преобразователей НБ-436М многоамперная обмотка имеет один виток вместо двух, что улучшило характеристику преобразователя и расширило зону рекуперации электровозов ВЛ10.

Основные технические данные преобразователя (трехмашинного агрегата) ПЭ-5В электропоездов ЭР22 и ЭР22м

А. Двигатель

Напряжение	3000 В
Ток	19,2 А
Мощность (продолжительный режим)	50 кВт
Частота вращения	1000 об/мин
Количество главных полюсов	4
» добавочных полюсов	4
Масса двигателя	1500 кг
Возбуждение	смешанное

Якорь

Диаметр сердечника (пакета):	
наружный	423 мм
внутренний	130 »
Длина сердечника	270 »
Материал листов сердечника	сталь Э12
Толщина средних листов	0,5 мм
Количество пазов	49
Высота паза	25,5 мм
Ширина »	12,4 »
Количество эффективных проводников в пазу	42
Количество сторон секций в пазу	14
Количество витков в секции	3
Размеры провода ПСД (неизолированного)	0,9×2,1 мм
Сопротивление обмотки при 20° С	3,71 Ом
Масса обмотки	28 кг
Шаг по пазам	1—13
» » коллектору	1—172
Диаметр коллектора рабочей части	390 мм
То же по петушкам	418 »
Количество витков крепления обмотки:	
в передней лобовой части	85
в задней лобовой части	4×12
по сердечнику якоря	85
Размеры вала:	
длина	1300 мм
диаметр (наибольший)	150 »

Главные полюсы

Размеры сердечника:	
высота	116 мм
ширина (под катушкой)	162 »
длина	270 »
Количество катушек независимого возбуждения	4
То же последовательного возбуждения	4
Воздушный зазор между полюсом и якорем	2,5 мм
Количество витков в катушке независимого возбуждения	458
То же последовательного возбуждения	63
Марка провода	ПБД
Размеры провода катушек независимого возбуждения	1,16×4,1 мм
То же последовательного возбуждения	2,83×3,28 »
Плотность тока в катушках:	
независимого возбуждения	0,9 А/мм²
последовательного возбуждения	2,18 »
Масса меди катушек:	
независимого возбуждения	84 кг
последовательного возбуждения	20 »
Сопротивление обмотки при 20° С:	
независимого возбуждения	8,11 Ом
последовательного возбуждения	0,52 »
Ток в обмотке:	
независимого возбуждения	4,11 А
последовательного возбуждения	19,2 »
Напряжение независимого возбуждения	110 В

Добавочные полюсы

Размеры сердечника:	
ширина	30 мм
длина	270 »
Воздушный зазор	5 »
Дополнительный зазор	4 »
Количество витков на полюс	185
Размеры провода ПБД	2,83×3,28 мм
Сопротивление обмотки полюсов при 20° С	0,983 Ом
Масса обмоток	43 кг
Ток	19,2 А

Б. Генератор (синхронный)

Напряжение	230 В
Ток	94,3 А
Мощность часового режима	30 кВт
Частота вращения	1000 об/мин
Частота	50 Гц
Cos φ	0,8

Статор

Диаметр наружный	493 мм
» внутренний	350 »
Длина пакета	170 »
Количество пазов	36

Воздушный зазор:	
под центром	1,4 мм
» краем полюса	2,1 »
Диаметр провода ПСД	1,81 »
Средняя длина полувитка	0,443 м
Количество пазов на полюс и фазу	2
Шаг обмотки по пазам	1—6
Количество эффективных проводников на паз	8
Сопротивление обмотки при 15° С	0,114 Ом
Масса обмотки	11,4 кг
Плотность тока	6,12 А/мм²

Ротор

Диаметр ротора (под центром полюса)	347,2 мм
Длина полюсного сердечника	185 »
Количество полюсов	6
» витков на полюс	298
Сечение провода ПСД	1,35×2,44 мм
Плотность тока	3,73 А/мм²
Сопротивление обмотки при 15° С	6,08 Ом
Ток возбуждения	11,5 А
Масса обмотки	29,3 кг

В. Возбудитель

Напряжение	137 В
Ток	250 А
Мощность кратковременная	34,2 кВт
Частота вращения	1000 об/мин
Возбуждение	смешанное, встречное
Количество главных полюсов	4
» дополнительных полюсов	4

Якорь

Диаметр наружный	282 мм
» внутренний	105 »
Длина якоря	130 »
Количество пазов	27
Размеры паза:	
высота	32,5 мм
ширина	10,2 »
Количество эффективных проводников в пазу	16
Количество сторон секций в пазу	4
Количество витков в секции	2
» мертвых проводников	4
Шаг по пазам	1—7
» » коллектору	1—54
Размеры провода ПСД	1,45×5,9 мм
» изолированной катушки	9,5×15 »
Плотность тока	15 А/мм²
Масса меди якоря	12 кг
Сопротивление обмотки при 20° С	0,0781 Ом

Коллектор и щеткодержатели

Диаметр коллектора	232 мм
Длина рабочей части коллектора	50 »
Количество коллекторных пластин	107
Количество щеткодержателей	4
» щеток в щеткодержателе	1
Коллекторное деление	6,8 мм
Щеточное перекрытие	2,35 »
Толщина межламельной изоляции	1 »
Размеры щетки ЭГ-2а	16×40 мм
Плотность тока под щеткой	19,55 А/см²

Главные полюсы

Размеры сердечника:	
высота	97 мм
ширина (под катушкой)	102 »
длина	130 »
Воздушный зазор между полюсом и якорем	2,2 »
Диаметр провода (ПБД) катушек независимого возбуждения	1,56 »
Сечение кабеля ПС4000 противокомпаундной обмотки	50 мм²
Количество витков на полюс:	
обмотки независимого возбуждения	330
обмотки противокомпаундной	2
Плотность тока в обмотке независимого возбуждения	7,58 А/мм²
Масса обмотки независимого возбуждения	10,5 кг
Сопротивление при 20° С:	
обмотки независимого возбуждения	6,94 Ом
противокомпаундной обмотки	0,00685 »

Добавочные полюсы

Размеры сердечника:	
ширина	40 мм
длина	140 »
Воздушный зазор	3 »
Размеры провода ПБД	6,9×3,53 мм
Плотность тока	10,8 А/мм²
Количество витков	31
Сопротивление обмотки при 20° С	0,0485 Ом
Масса обмотки	9,2 кг

X-3. ГЕНЕРАТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Конструкция генераторов управления показана на рис. X-15 — X-18, а их основные технические данные приведены в табл. X-7.

Генераторы ДК-405А и ДК-405К установлены на отечественных электровозах постоянного и переменного тока, ДК-405Б — на электропоездах.

Генераторы ДК-405 разных модификаций различаются некоторыми конструктивными изменениями, которые обусловлены установкой генератора на валах различных двигателей (ДК-405А — на валу ДК-403Г; ДК-405К — на валу НБ-430А, ТЛ-110, НБ-453, НБ-455 и др.; ДК-405Б — на валу ДК-601 и т. д.). Длина сердечника

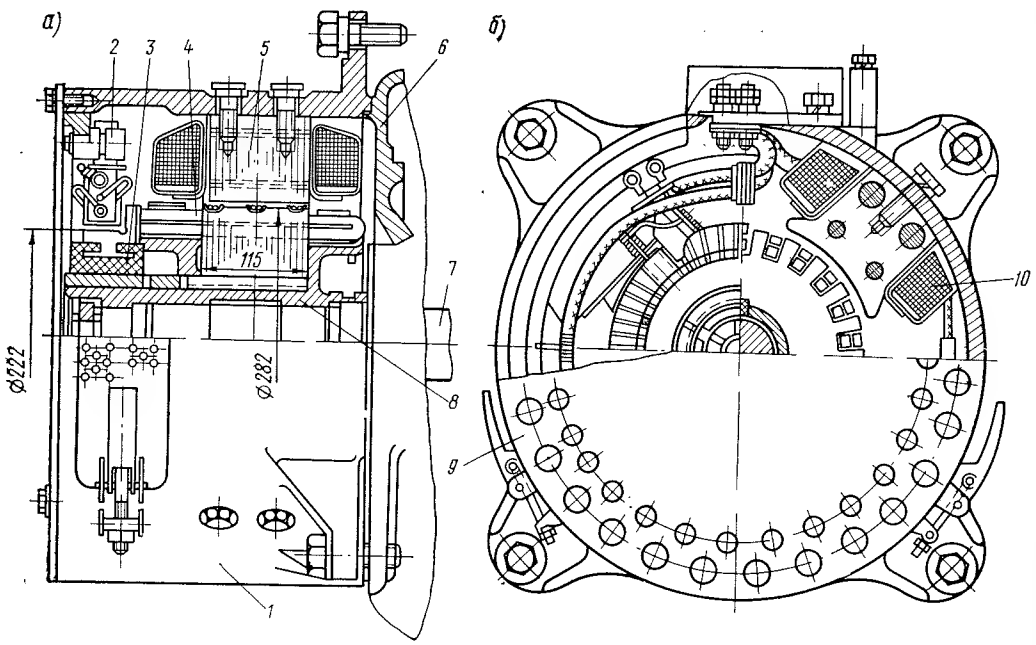


Рис. X-15. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы генератора управления ДК-405:
1 — остов; *2* — кронштейн щеткодержателя; *3* — корпус коллектора; *4* — обмотка якоря; *5* — сердечник полюса; *6* — подшипниковый щит двигателя; *7* — вал; *8* — втулка якоря; *9* — крышка; *10* — тушка полюса

якоря ДК-405К несколько больше, чем сердечника ДК-405А (115 мм вместо 80 мм), отличаются они также массой и параметрами обмотки.

В конструкцию генераторов ДК-405К последних выпусков введено ряд улучшений: в якоре применена изоляция ВЭС-2 и провод ПЭТСВД, в полюсах — изоляция «Монолит 2», в коллекторах — легированная медь, для крепления обмотки якоря — стеклобандажная лента взамен стальной проволоки и др.

Существенно отличается от генераторов ДК-405 и генераторов 3А и 4А-1731/4 генератор 2ГВ-001 электровозов ВЛ82.

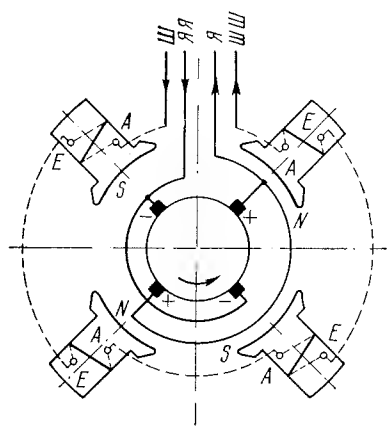


Рис. X-16. Схема соединения обмоток генератора управления ДК-405К

Генератор 2ГВ-001 представляет собой индукторный синхронный генератор переменного тока, состоящий из следующих основных частей — станины, статора с обмоткой, ротора с валом, подшипниковых щитов и обмоток возбуждения. Статор и ротор генератора собраны из листов электротехнической стали Э12 или Э11 толщиной 0,5 мм. Статор имеет 18 пазов, в которые уложены две обмотки -основная и дополнительная. Обе обмотки трехфазные и соединены в звезду. Ротор обмоток не имеет. Генератор имеет две катушки параллельного и две катушки последовательного возбуждения, установленные на выступах подшипниковых щитов. Напряжение возбуждения 32В. Приводом генератора является двигатель вентилятора НБ-101.

Охлаждение генератора—наружное. Выводные провода смонтированы в коробке выводов, расположенной на его станине. На электровозах ВЛ82м вместо генераторов 2ГВ-001 установлены синхронные генераторы НБ-104. На электровозах Ф на валу расщепителя фаз установлен генератор ВА 10/12 мощностью 4 кВт при напряжении 75 В. Генератор ВА 10/12 представляет собой четырехполюсную машину смешанного возбуждения. Обмотка якоря волновая. Диаметр якоря 200 мм, число пазов 43, сечение меди 1,4 × 6,3 мм. Шаг обмотки по пазам 1—11, по коллектору — 1—43. Диаметр коллектора 170 мм, коллекторных пластин — 85.

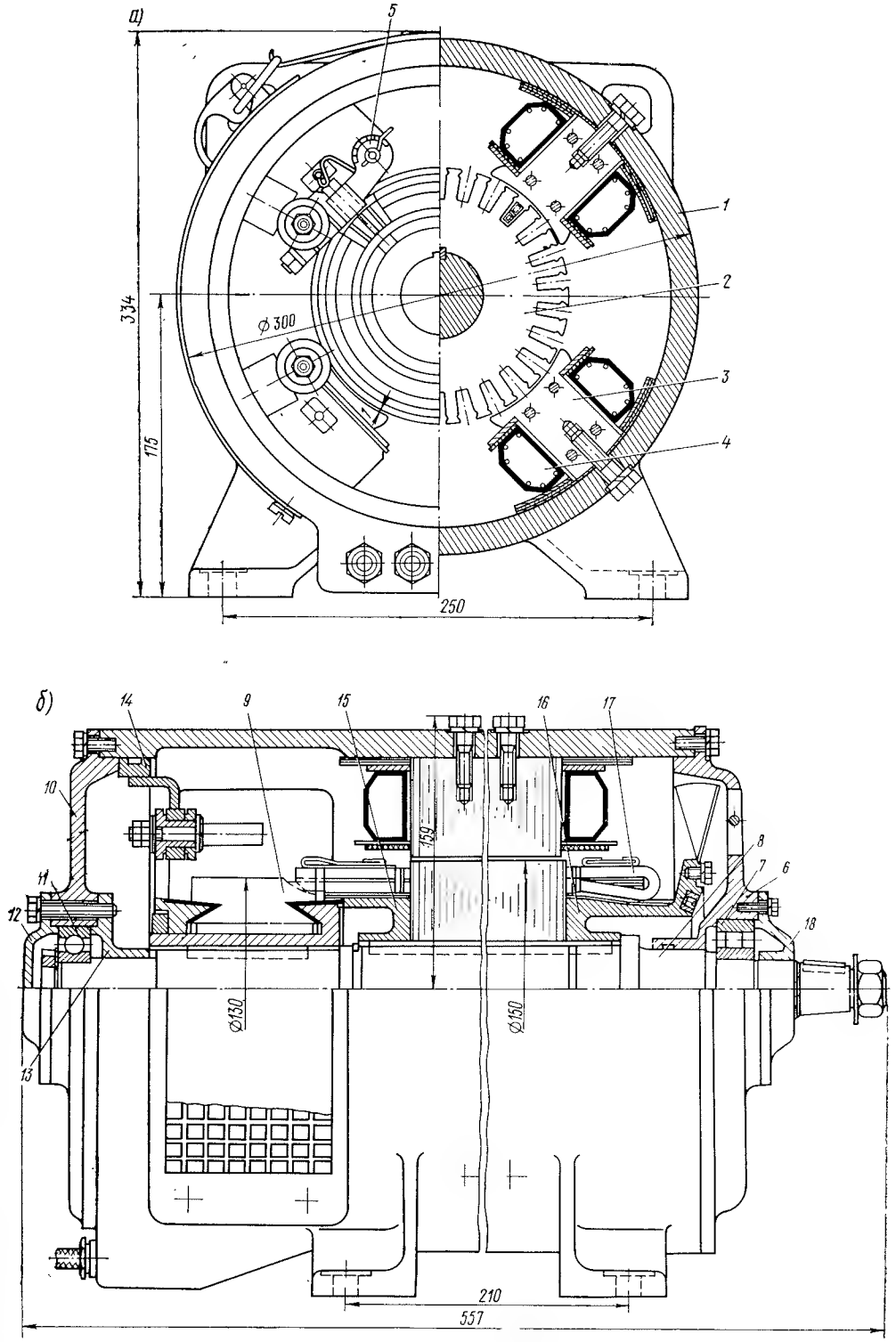


Рис. X-17. Поперечный (*а*) и продольный (*б*) разрезы генератора управления 3А-1731/4:
1 — корпус генератора; *2* — сердечник якоря; *3* — сердечник главного полюса; *4* — катушка главного полюса; *5* — щеткодержатель; *6, 10* — подшипниковые щиты; *7, 11* — якорные подшипники; *8* — вал якоря; *9* — коллектор; *12, 13, 18* — крышка щитов; *14* — траверса; *15, 16* — шайбы нажимные якоря; *17* — обмотка якоря

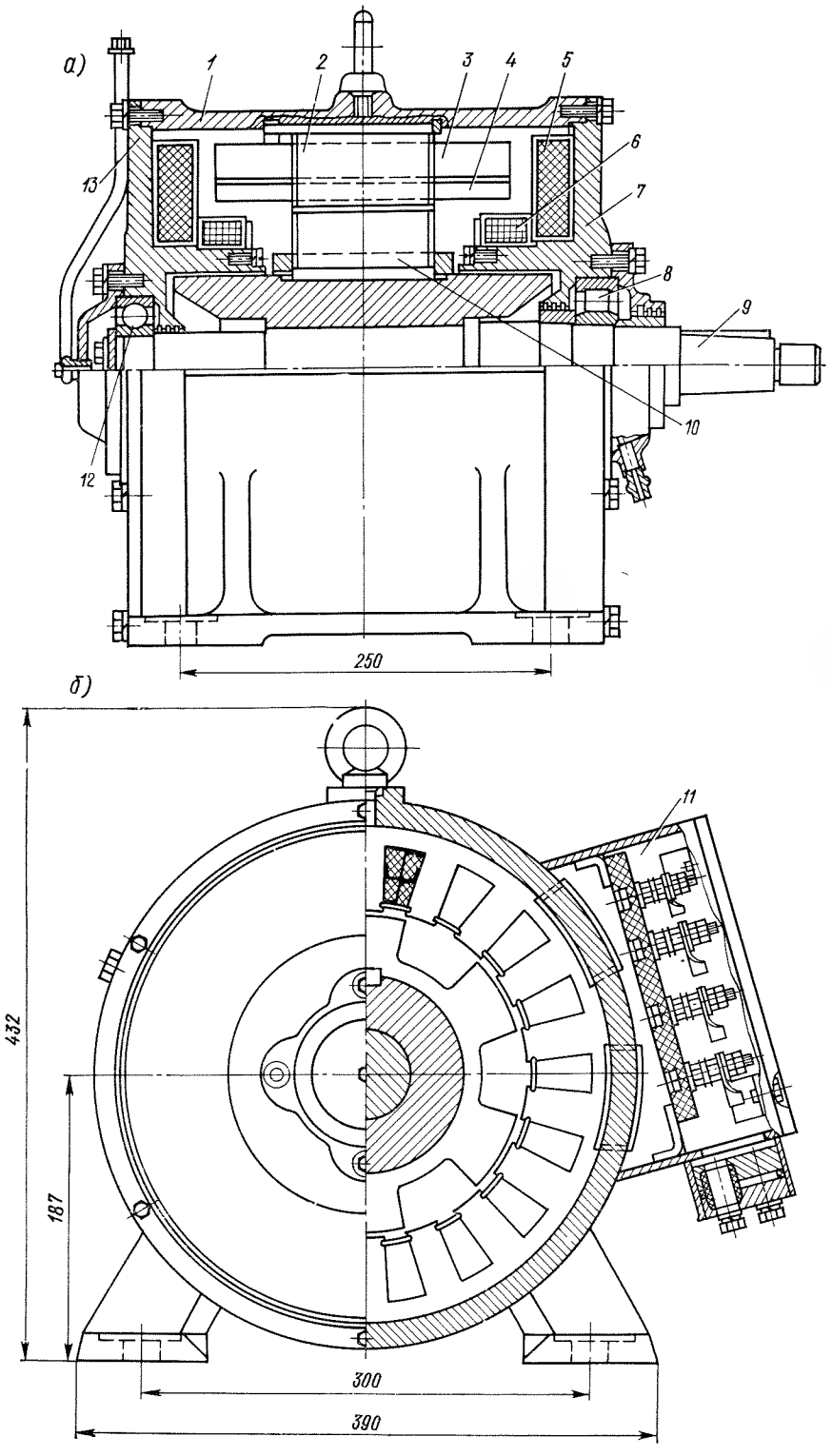


Рис. X-18. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы генератора управления 2ГВ-001:
1 — корпус; *2* — сердечник статора; *3* — основная обмотка статора; *4* — дополнительная обмотка статора; *5* — параллельная катушка; *6* — последовательная катушка; *7, 13* — подшипниковые щиты; *8, 12* — якорные подшипники; *9* — вал; *10* — ротор; *11* — коробка выводов

Таблица X-7

Основные технические данные генераторов управления электроподвижного состава

Показатели	Генераторы типа			
	ДК-405К	3А-1731/4*[2], 4А-1731/4	на валу ДК-604В	ДК-405Б, на валу ДК-601Г
Серия э. п. с.	ВЛ8, ВЛ10, ВЛ23	ЧС1, ЧС2, ЧС3	ЭР1, ЭР2	С[р]
Напряжение, В	50	60	50	50
Мощность, кВт	4,5	5	10	4,5
Ток, А	90	83,5	200	90
Частота вращения, об/мин	990*	2600	1000	1100
Количество главных полюсов	4	4	4	4
Воздушный зазор между якорем и главным полюсом, мм	2,2	1	2,2	2,2
Количество щеткодержателей	4	4	4	4
Масса машины, кг	274	150	—	250
Якорь				
Диаметр сердечника, мм:				
наружный	282	150	282	282
внутренний	105	50	105	105
Длина сердечника, мм	115	54	80	80
Количество пазов	27	27	27	27
Размеры паза, мм:				
высота	33,3*[3]	18,8	32,5	32,5
ширина	11*[3]	7,6	10,2	10,2
Шаг волновой обмотки:				
по пазам	1—7	1—8	1—7	1—7
» коллектору	1—54	1—41	1—54	1—54
Количество катушек	27	27	27	27
» витков секции	1	—	1	1
» сторон секций в пазу	8	6	8	8
» параллельных проводов	2	—	2	2
» «мертвых» проводов	2	—	2	2
Марка провода	ПЭТВСД*[3]	—	МГМ	МГМ
Класс изоляции по нагревостойкости	В	—	В	В
Размеры провода (неизолированного), мм	1,25×5,9*[3]	1,6×5,5	1,56×5,9	1,56×5,9
Плотность тока в обмотке, А/мм²	3,1	—	5,56	2,7
Сопротивление обмотки при 20 °С, Ом	0,0243	—	0,0177	0,0186
Масса обмотки, кг	10	4,1	13	13
Диаметр проволоки или сечение стеклобандажной ленты бандажа, мм	0,2×20	1	1,5	1,2
Количество витков бандажа:				
на сердечнике	15×2	—	3×5	15
в передней лобовой части	25	—	20	32
в задней лобовой части	25	—	20	32
Коллектор и щеткодержатели				
Диаметр рабочей части коллектора, мм	222	130	234	222
Длина коллектора, мм	60	72	110	60
» рабочей части коллектора, мм	40	54	88	40
Количество коллекторных пластин	107	81	107	107
Напряжение между коллекторными пластинами, В	1,87	—	1,87	1,87
Окружная скорость коллектора, м/с	11,5	—	12,2	9,3
Щеточное перекрытие	2,46	—	2,34	2,46

Показатели	Генераторы типа			
	ДК-405К	3А-1731/4*², 4А-1731/4	на валу ДК-604В	ДК-405Б, на валу ДК-601Г
Коллекторное деление, мм	6,51	—	6,86	6,51
Марка щетки	ЭГ-2а	—	ЭГ-2а	ЭГ-2а
Размеры щетки, мм	16×32	2×10	16×32	16×32
Плотность тока под щеткой, А/см²	8,8	—	9,75	8,8
Обмотка главных полюсов				
Количество витков на полюс	510	535,5	510	510
Диаметр провода (неизолированного), мм	2,1	1,0	2,26	2,26
Марка провода	ПСД	1,22	ПБД	ПБД
Класс изоляции по нагревостойкости	F	B	A	A
Плотность тока в обмотке, А/см²	0,81	—	1,68	—
Сопротивление обмотки при 20°С, Ом	6,2	21	4,96	4,65
Масса обмотки, кг	39	6,7	43	43

* Частота вращения генераторов соответствует частоте вращения двигателя, на валу которого он установлен.

*² Генераторы 3А-1731/4 и 4А-1731/4 имеют 4 добавочных полюса; количество витков на полюс — 13,5; размер провода 4×7 мм; сопротивление обмотки при 20° С 0,0112 Ом, класс изоляции В; соединение катушек — последовательное. Зазор между якорем и добавочным полюсом 5 мм.

*³ До 1974 г. применялся провод марки ПБ00 сечением 1,25×5,5, паз якоря при этом был 32,7×10,4 мм.

Основные технические данные синхронного генератора управления 2ГВ-001 электровозов ВЛ82 следующие:

Мощность	7,5/1,2 кВА*
Напряжение линейное	48/22 В
Ток номинальный	91/32 А
Соединение обмоток	Y/Y
Частота вращения:	
номинальная	1600 об/мин
максимальная	2000 »
Частота	100—400 Гц
Коэффициент мощности	1
Возбуждение	специальное, смешанное
Количество полюсов	12
Напряжение возбуждения	32 В
Количество обмоток статора	2 (основная и дополнительная)
» фаз обмоток статора	3/3
Масса генератора	200 кг
Статор	
Диаметр наружный	327 мм
» внутренний	216 »
Длина пакета	100 »
Воздушный зазор основной	0,7 »
То же дополнительный	0,4 »
Количество полюсов	12
» зубцов	18
Полюсное деление	5,65 см
Зубцовое »	3,77 »
Марка стали сердечника	Э12 или Э11
Толщина листа сердечника	0,5 мм
Ротор	
Диаметр наружный	214,6 мм
» внутренний	128 »
Длина пакета	96 »
Количество зубцов	6
Зубцовое деление	11,25 мм
Марка стали сердечника	Э12 или Э11
Толщина листов сердечника	0,5 мм
Обмотки	
Количество катушек обмотки возбуждения:	
параллельных	2
последовательных	2
Количество катушек обмотки статора:	
основной	18
дополнительной	18
Марка провода:	
обмотки статора основной и дополнительной	ПСД
обмотки возбуждения параллельной	АПБД
обмотки возбуждения последовательной	МГМ
Диаметр или сечение провода обмотки:	
статора основной	1,68 мм
» дополнительной	1,81 »
возбуждения параллельной	2,1 »
» последовательной	1,08×25 мм
Количество витков в катушке обмотки:	
статора основной	15
» дополнительной	6
возбуждения параллельной	431
» последовательной	9
Количество параллельных проводников в обмотке:	
статора основной	4
» дополнительной	1
возбуждения параллельной	1
» последовательной	1
Количество параллельных ветвей обмотки:	
статора основной	2
» дополнительной	2
Сопротивление обмотки при 20° С:	
статора основной (одной фазы)	0,0151 Ом
статора дополнительной (одной фазы)	0,0211 »
возбуждения параллельной	2,75×2 »
» последовательной	0,006×2 »
Плотность тока в обмотках:	
статора основной	5,12 А/мм²
» дополнительной	6,25 »
возбуждения параллельной	0,88 »
» последовательной	4,47 »
Шаг обмотки статора основной и дополнительной	1—2
Класса изоляции по нагревостойкости обмоток:	
статора основной и дополнительной	В
возбуждения параллельной	А
» последовательной	В
Масса обмотки:	
статора основной	8,5 кг
» дополнительной	2,1 »
возбуждения параллельной	6,6 »
» последовательной	2,6 »

* В числителе — для основной обмотки, в знаменателе — для дополнительной.

Основные технические данные синхронного генератора управления НБ-104 электровозов ВЛ82ᵐ:

Мощность	7,5 кВт
Напряжение (выпрямленное)	50 В
Ток (выпрямленный)	150 А
Частота вращения	1500 об/мин
Частота	50 Гц
К. п. д.	85%
Масса машины	250 кг
Обмотка возбуждения	
Ток возбуждения	4,8 А
Количество полюсов	4
Количество витков на полюс	510
Диаметр провода ПСД (неизолированного)	2,1 мм
Средняя длина витка	497 »
Плотность тока	1,4 А/мм²
Сопротивление при 20° С	5,13 Ом
Тип изоляции	«Монолит 2»
Класс изоляции по нагревостойкости	F
Масса обмотки	31,2 кг
Якорь	
Диаметр наружный	282 мм
» внутренний	105 »
Длина сердечника	80 »
Количество пазов	27
Размеры паза:	
ширина	11 мм
высота	33,3 »
Количество эффективных проводников в пазу	8
Количество параллельных проводников в пазу	2
Количество цепей	2
» витков в фазе	18
Тип обмотки	двухслойная
Размеры провода ПЭТВСД:	
неизолированного	1,25×5,9 мм
изолированного	1,84×6,37 »
Средняя длина витка	740 мм
Плотность тока	4,1 А/мм²
Сопротивление обмотки при 20° С	0,008 Ом
Тип изоляции	ВЭС-2
Класс изоляции по нагревостойкости	В
Масса обмотки	9,7 кг
Контактные кольца и щеткодержатели	
Диаметр колец	180 мм
Длина рабочей части	3×22 мм
Количество колец	3
Окружная скорость колец	13,2 м/с
Плотность тока в щетке	11,6 А/мм²
Количество щеткодержателей	6
Количество щеток	6
Марка щетки	ЭГ-2а
Размеры щетки	16×32

X-4. ДЕЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Конструкция делителя напряжения ДК-604В и схема соединения обмоток показаны на рис. X-19 и X-20.

Делители напряжения — это четырехполюсные машины, якоря которых имеют две одинаковые обмотки и два одинаковых коллектора. Каждая обмотка присоединена к своему коллектору. Оба коллектора включены последовательно, и напряжение на каждом из них составляет 1500 В.

Остовы делителей напряжения литые, стальные, цилиндрической формы. На валу делителей устанавливается генератор управления. Охлаждение осуществляется вентилятором, насаженным на вал делителя напряжения: у ДК-601 — внешним обдувом (для увеличения поверхности охлаждения на остове имеются специальные ребра), а у ДК-604 — продуванием воздуха через машину. Забор воздуха производится через патрубок щита генератора. Воздух охлаждает генератор, а затем через отверстия в подшипниковом щите проходит по вентиляционным каналам делителя напряжения ДК-604 и выбрасывается наружу.

Щеткодержатели делителя напряжения крепят на траверсах с помощью изолированных пальцев. Траверсы укреплены в специальных выточках подшипниковых щитов.

Якорные подшипники делителей напряжения роликовые: упорный шариковый — со стороны генератора управления, свободный роликовый — со стороны вентилятора.

Основные технические данные делителей напряжения ДК-604В и ДК-601Г:

Серия электропоезда	ЭР2	$С^{р}_{3}$
Тип делителя напряжения	ДК-604В*	ДК-601Г
Напряжение, В	3000	3000
Мощность, кВт	12	5,5
Ток, А	5,3	2,4
Частота вращения, об/мин	1000	1100

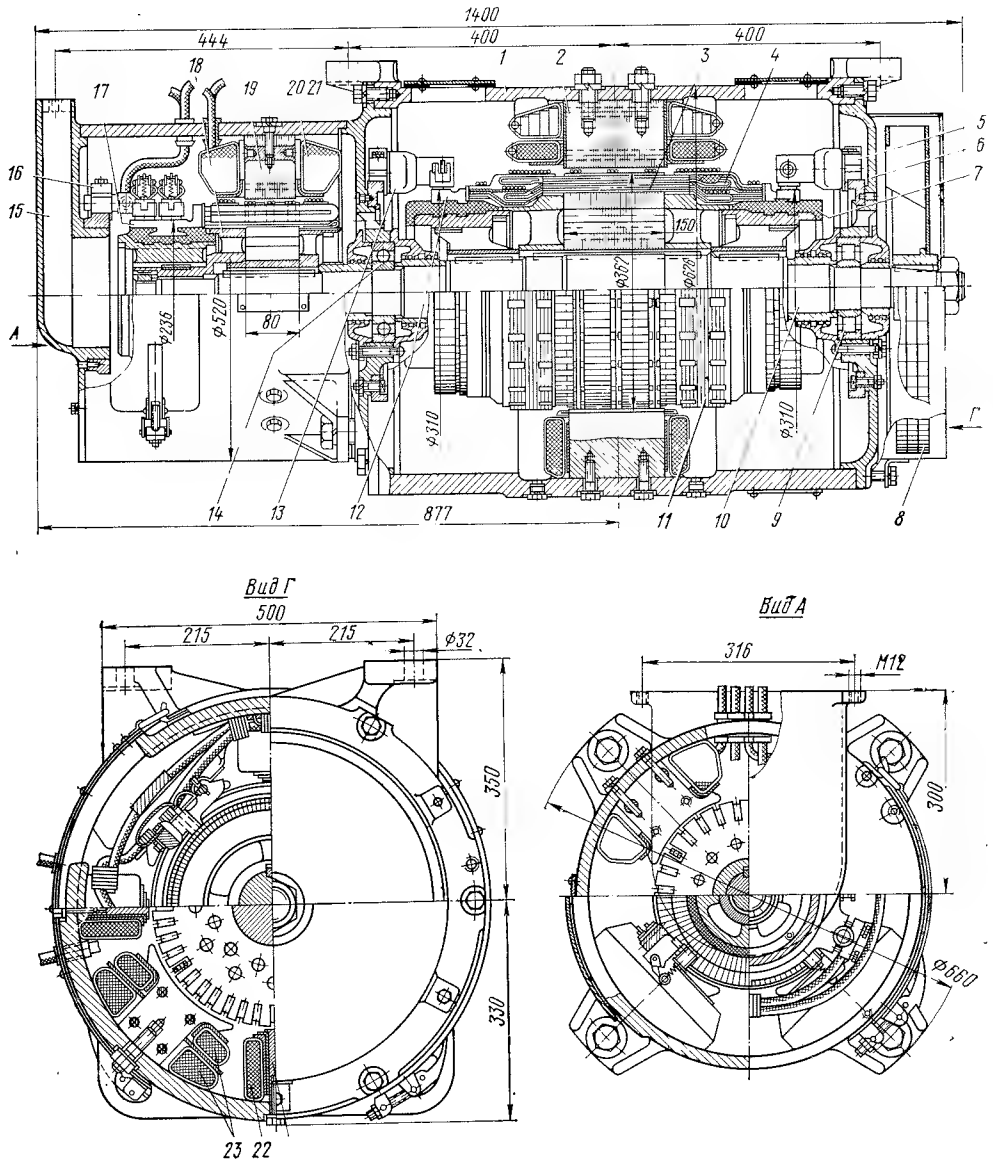


Рис. X-19. Делитель напряжения ДК-604В с генератором и вентилятором:

1 — остов делителя напряжения; *2* — главный полюс; *3* — якорь делителя напряжения; *4* — обмотка якоря делителя напряжения; *5, 13* — траверсы с щеткодержателями; *6, 21* — подшипниковые щиты; *7, 12* — коллекторы; *8* — вентилятор; *9, 14* — якорные подшипники; *10* — вал; *11* — бандаж обмотки делителя напряжения; *15* — щит генератора; *16* — траверса генератора; *17* — коллектор генератора; *18* — якорь генератора; *19* — остов генератора; *20* — главный полюс генератора; *22* — катушка добавочного полюса делителя напряжения; *23* — катушки главного полюса делителя напряжения.

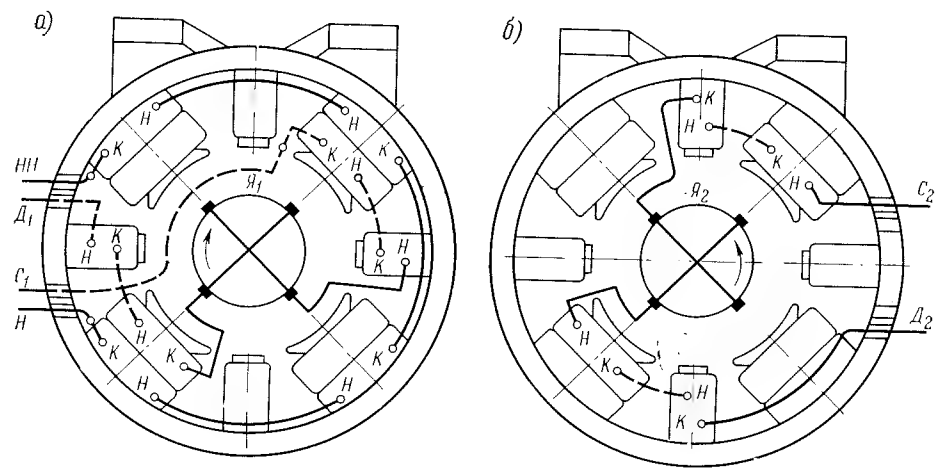


Рис. X-20. Схема соединений обмотки делителя напряжения ДК-604В:
а — сторона генератора; *б* — сторона вентилятора

К. п. д., %	—	71,8
Сопротивление демпферного резистора, Ом	42	40
Количество главных полюсов	4	4
» добавочных »	4	—
Воздушный зазор, мм:		
между якорем и главным полюсом	2,5	2,5
» добавочным полюсом и якорем	3,0	—
Количество щеткодержателей	4×2	4×2
Масса машины (с генератором), кг	1200	1060
Количество якорей	2	2

Якорь

Диаметр сердечника, мм:		
наружный	362	362
внутренний	115	115
Длина сердечника, мм	150	150
Марка стали листов сердечника	Э12	Э1А
Толщина листов, мм	0,5	0,5
Размеры паза, мм:		
высота	32,2	32,2
ширина	10,8	10,8
Количество пазов	45	45
Тип обмотки	Волновая	Волновая
Шаг обмотки:		
по пазам	1—12	1—12
» коллектору	1—158	1—158
Количество катушек	45	45
» витков в секции	4	4
» сторон секции в пазу	2×14	2×14
» эффективных проводников	2×56	2×56
Количество параллельных проводников	—	—
Количество «мертвых» проводников	—	—
Диаметр провода ПЭЛШКД, мм:		
неизолированного	0,86	0,86
изолированного	1,06	1,06
Сопротивление обмотки якоря при 20° С, Ом	9,6	9,6

* Основные технические данные генераторов управления приведены в табл. X-7.

Плотность тока, А/мм²	4,56	2,05
Масса меди, кг	15	15
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А
Диаметр проволоки бандажа, мм	1,5	1,5
Количество витков бандажа:		
в лобовых частях	40×2	40×2
на сердечнике	6×3	6×3
Коллектор и щеткодержатели		
Диаметр рабочей поверхности, мм	310	310
» по петушкам, мм	315	315
Длина коллектора, мм	51	51
» рабочей части коллектора	33	33
Количество коллекторных пластин в коллекторе	315	315
Напряжение между коллекторными пластинами, В	19	19
Щеточное перекрытие, мм	2,58	2,58
Коллекторное деление, мм	3,09	3,09
Толщина межламельной изоляции, мм	1	1
Плотность тока под щеткой, А/см²	1,33	0,6
Размеры щетки ЭГ-2а, мм	8×25×50	8×25×50
Количество щеток в щеткодержателе	1	1
Главные полюсы		
Размеры сердечника, мм:		
ширина	90	90
длина	154	154
Обмотка независимого возбуждения (параллельная)		
Количество витков на полюс	530	11900
Марка провода	ПБД	ПЭЛШО
Диаметр провода (неизолированного), мм	1,68	0,31
Плотность тока, А/мм²	1,57	2,04
Сопротивление при 20° С, Ом	11,4	7700
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А
Масса обмотки, кг	28	23,7
Обмотка последовательного возбуждения		
Количество витков на полюс	170	351
Марка провода	ПБД	ПБД
Диаметр провода (неизолированного), мм	2,1	2,1
Плотность тока, А/мм²	1,53	0,7
Сопротивление при 20° С, Ом	2,44	2,8*
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А
Масса обмотки, кг	14	33,5
Добавочные полюсы		
Количество витков на полюс	350	—
Марка провода	ПБД	—
Диаметр провода неизолированного, мм	2,1	—
Класс изоляции по нагревостойкости	А	—
Плотность тока в обмотке, А/мм²	1,53	2
Сопротивление обмотки при 20° С (одной катушки), Ом	0,85	—
Масса обмотки, кг	22	—

* Одна группа.

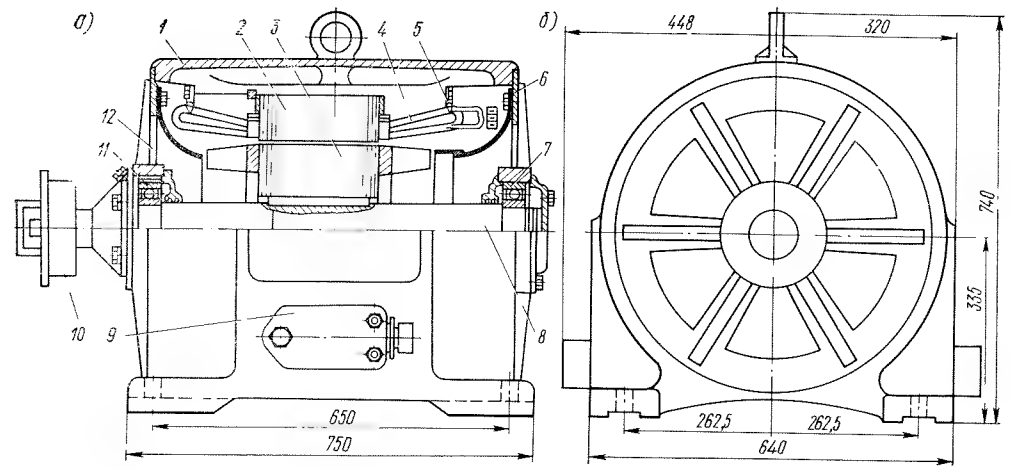


Рис. X-21. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы расщепителя фаз НБ-455А:
1 — корпус (станина); *2* — сердечник статора; *3* — ротор; *4* — обмотка статора; *5* — кольцо бандажное; *6, 12* — щиты подшипниковые; *7, 11* — якорные подшипники; *8* — вал; *9* — коробка выводов; *10* — реле оборотов

X-5. РАСЩЕПИТЕЛИ ФАЗ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Конструкция расщепителя фаз НБ-455А показана на рис. X-21, а основные технические данные расщепителей фаз приведены в табл. X-8; расщепители фаз рассчитаны на продолжительный режим работы.

Расщепители фаз НБ-453А, НБ-455 и НБ-455А выполнены на базе асинхронного трехфазного двигателя единой серии А92-4. Расщепители фаз НБ-455 и НБ-455А отличаются от расщепителей фаз НБ-453А конструкцией обмотки статора и конструкцией подшипникового узла со стороны реле оборотов. Обмотка статора расщепителей фаз НБ-455 и НБ-455А, как и у расщепителей фаз НБ-453А, специальная двухслойная, трехфазная, несимметричная, но в отличие от НБ-453А состоит из жестких катушек (у НБ-453А — мягкие катушки), изготовленных из обмоточного провода ПСД прямоугольного сечения. Катушки расщепителей фаз всех типов уложены в полузакрытые пазы и закреплены в них клиньями. Пазовая изоляция выполнена в виде гильзы. Лобовые части смежных катушек стянуты стеклочулком поперечной и продольной вязкой с предварительной изоляцией катушек прокладками из гетинакса. Каждая катушка подвязана к изолированному бандажному кольцу. Подшипниковые щиты расщепителей фаз НБ-455 и НБ-455А стальные, сварные (у НБ-453А — чугунные).

Расщепители фаз НБ-455А в отличие от расщепителей фаз НБ-455 не имеют удлиненного конца вала для установки генератора управления ДК-405.

Преобразователь 49,5/40 электровозов Ф состоит из расщепителя фаз, пускового двигателя переменного тока 31,6/27 и низковольтного генератора постоянного тока ВА10/12. Каждая из этих машин имеет отдельный статор. Ротор пускового двигателя и якорь генератора установлены на одном валу с ротором расщепителя фаз по обе его стороны. Агрегат охлаждается сдвоенным вентилятором, размещенным на валу между роторами генератора и расщепителя фаз и создающим два воздушных потока, один из которых охлаждает генератор, второй — пусковой двигатель и расщепитель фаз.

X-6. ДВУХМАШИННЫЕ АГРЕГАТЫ ТЕПЛОВОЗОВ

Двухмашинные агрегаты А-706, А-706А и А-706Б состоят из возбудителя В-600 и вспомогательного генератора ВГТ-275/120; от возбудителя получает питание обмотка возбуждения главного генератора. Вспомогательный генератор предназначен для питания обмотки возбудителя, цепей управления и для зарядки аккумуляторной батареи. Кроме того, вспомогательный генератор ВГТ-275/120 снабжен двумя контактными кольцами, от которых производится питание переменным током оборудования тепловоза. Якоря возбудителя и генератора смонтированы на одном валу (рис. X-22 и X-23). На главных полюсах возбудителя расположены две обмотки — независимая и размагничивающая, которые получают питание соответственно от магнитного усилителя и от вспомогательного генератора.

В средней части вала между возбудителем и вспомогательным генератором установлен вентилятор. Охлаждающий воздух всасывается через открытые нижние части подшипниковых щитов, а выбрасывается наружу через специальные вентиляционные отверстия станины. Свободный конец вала у агрегата А-706А находится

Таблица X-8

Основные технические данные расщепителей фаз электроподвижного состава переменного тока

Показатели	Расщепители фаз				
	НБ-453	НБ-455	НБ-455А	№ 49,5/40 расщепитель	РФ-1В, РФ-1Д
Серия э. п. с.	ВЛ60к	ВЛ60к	ВЛ80к ВЛ80т	Ф	ЭР9П
Напряжение, В	380	380	380	380	220
Ток, потребляемый из сети, А	280	280	280	580	150
Мощность, кВА	115	210	210	220	18*2
Частота, Гц	50	50	50	50	50
Коэффициент мощности	0,8	0,8	0,8	—	0,7
Частота вращения ротора, об/мин	1490	1490	1490	1495	1480
Компенсирующая емкость, мкФ	700	2700	2700	—	—
Сопротивление, Ом	0,7	0,7	0,7	—	0,4
Воздушный зазор между ротором и статором, мм	1	1	1	1	0,6
Масса, кг	665	725	690	880	310
Статор					
Диаметр наружный, мм	493	493	493	495	361
» внутренний, мм	315	315	315	335	225,4
Длина сердечника, мм	220	220	220	402	150
Толщина листов сердечника, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Марка стали сердечника	Э13	Э13	Э13	—	Э12
Количество полюсов статора	4	4	4	4	4
Количество пазов статора	60	60	60	64	48
Шаг по пазам	1—14	1—14	1—14	1—17	1—11
Ток, А:					
фаза I*	123	154	154	—	115
» II	80	110	110	—	120
» III	48	77	77	—	60
Количество пазов на полюс и фазу:					
фаза I	4	4	4	5	4
» II	5	5	5	5	4
» III	6	6	6	6	4
Количество проводников в пазу:					
фаза I	48	24	24	4	—
» II	48	24	24	4	—
» III	36	36	36	4	—
Количество витков в фазе:					
фаза I	28	28	28	20	40
» II	44	44	44	20	38
» III	54	54	54	24	56
Количество витков в катушке:					
фаза I	2	2	2	1	—
» II	2	2	2	1	—
» III	9	9	9	1	—
Количество параллельных проводов:					
фазы I и II	12	6	6	2	3
фаза III	2	2	2	2	3
Количество параллельных ветвей:					
фазы I и II	1	1	1	—	2
фаза III	4	4	4	—	2

Продолжение табл. X-8

Показатели	Расщепители фаз				
	НБ-453	НБ-455	НБ-455А	№ 49,5/40 расщепитель	РФ-1В, РФ-1Д
Обмоточный коэффициент:					
фаза I	0,952	0,952	0,952	0,955	—
» II	0,935	0,935	0,935	0,955	—
» III	0,915	0,915	0,915	0,943	—
Диаметр или сечение провода, мм					
неизолированного фазы I и II	1,95	2,1×2,83	2,1×2,83	2,65×10	1,81
фаза III	1,95	1,25×2,83	1,25×2,83	2,65×10	1,68
изолированного фазы I и II	2,22	2,43×3,16	2,43×3,16	—	2,10
фаза III	2,22	1,52×3,1	1,52×3,1	—	1,97
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом:					
фаза I	0,0187	0,0213	0,0213	0,0116	0,0435
» II	0,0293	0,034	0,034	0,0116	0,0415
» III	0,0526	0,0489	0,0489	0,0142	0,0660
Средняя длина витка, мм	1300	1340	1340	—	—
Масса меди с изоляцией, кг	49,5	52,8	52,8	—	16,8
Класс изоляции по нагревостойкости	А	В	В	В	В
Марка провода	ПБД	ПСД	ПСД	Медные стержни	ПСД
Плотность тока, А/мм²:					
фаза I	—	4,7	4,7	—	6,68
» II	—	3,35	3,35	—	6,87
» III	—	2,87	2,87	—	4,5
Скос пазов, зубцовых делений	1	1	1	1	1,3
Ротор[*3]					
Диаметр наружный, мм	313	313	313	333	224,2
» внутренний, мм	100	100	100	170	80
Длина сердечника, мм	225	225	225	404	148
Материал стали листов сердечника	Э11	Э11	Э11		Э12
Толщина листов, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Количество пазов	50	50	50	54	60
Масса заливки или медной клетки	13,5	13,5	13,5	—	8

* Для расщепителей фаз РФ-1В и РФ-1Д — фазы I, II, III соответствуют обозначению А, В, С.

*2 Мощность указана в киловаттах.

*3 У расщепителя фаз № 49,5/40 в пазах ротора уложены медные стержни специального профиля размером 6,8×21,2 мм, которые приварены к короткозамыкающим кольцам, изготовленным из медной полосы размером 25×25.

У расщепителя фаз РФ-1В ротор имеет двойную беличью клетку, которая образуется из медных стержней (верхние имеют диаметр 6 мм или 8 мм — на последних выпусках расщепителей; нижние — 8 мм) и короткозамыкающих колец — малого диаметра 172 мм и большого — 209,5 мм.

*4 Электротехническая сталь с удельными потерями 2,6 Вт/кг.

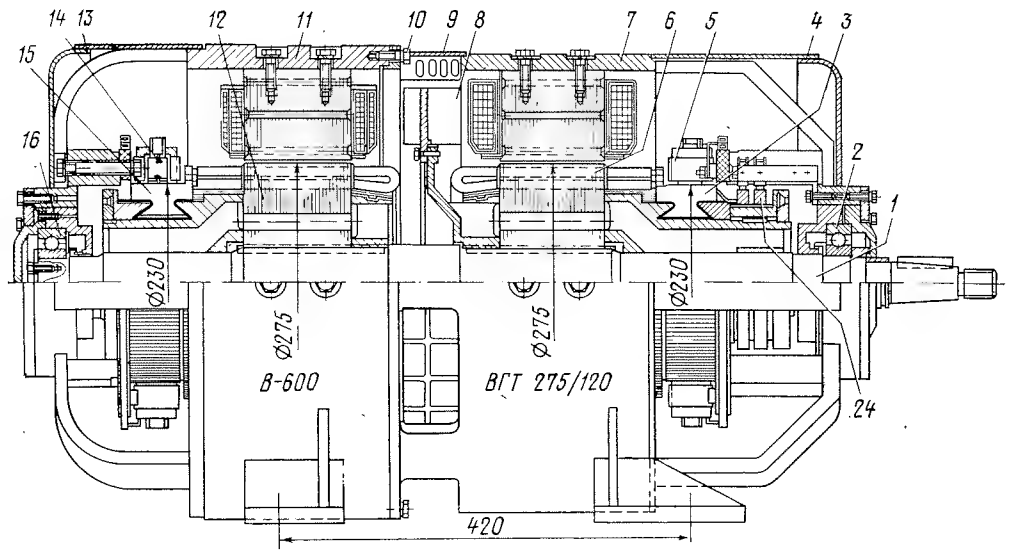


Рис. X-22. Продольный разрез двухмашинного агрегата А-706Б тепловозов:

1 — вал якоря; *2, 16* — подшипники; *3, 15* — коллекторы; *4, 13* — щитки; *5, 14* — щеткодержатели; *6* — якорь; вспомогательного генератора; *7* — станина вспомогательного генератора; *8* — вентилятор; *9* — сетка; *10* — болты станин возбудителя и генератора; *11* — станина возбудителя; *12* — якорь возбудителя; *24* — контактные кольца

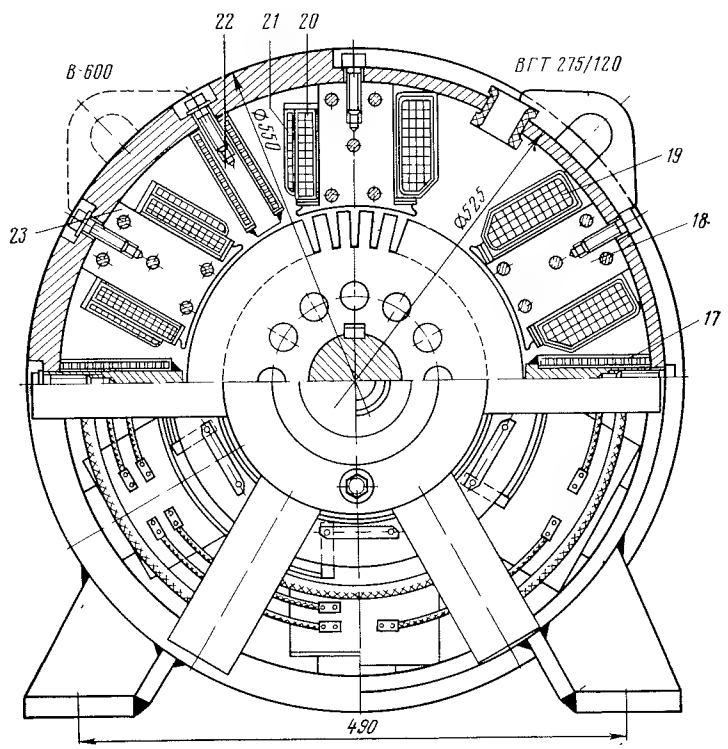


Рис. X-23. Поперечный разрез двухмашинного агрегата А-706Б тепловозов:

17 — добавочный полюс вспомогательного генератора; *18, 19* — соответственно сердечник и обмотка главного полюса вспомогательного генератора; *20* — обмотка независимого возбуждения возбудителя; *21* — аварийная обмотка; *22* — добавочный полюс возбудителя; *23* — главный полюс возбудителя

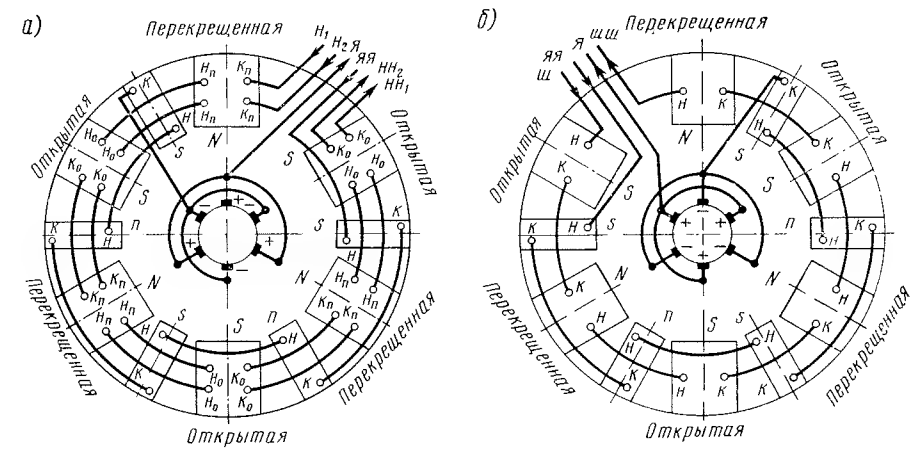


Рис. X-24. Схема внутренних соединений возбудителя В-600 (*а*) и вспомогательного генератора ВГТ-275/120 (*б*):

H_1—HH_1 — независимая обмотка; H_2—HH_2 — размагничивающая обмотка; *Я—ЯЯ* — обмотка якоря и дополнительных полюсов; *Ш—ШШ* — обмотка параллельного возбуждения

со стороны возбудителя, у агрегата А-706Б — со стороны вспомогательного генератора.

На тепловозах ТЭП10 и ТЭ40 возбудитель В-600 и вспомогательный генератор ВГТ-275/120А не объединены в агрегат, а установлены раздельно. Схема соединения обмоток возбудителя В-600 и вспомогательного генератора ВГТ-275/120 показана на рис. X-24.

Конструкция двухмашинного агрегата, состоящего из возбудителя МВТ-25/9 и вспомогательного генератора МВГ-25/11, показана на рис. X-25 и X-26. Привод агрегата осуществляется клиноременной передачей от вала дизеля. Возбудитель МВТ-25/9 имеет четыре продольно расщепленных главных полюса (рис. X-27), на каждом из которых расположены две обмотки — независимая *5*, получающая питание от вспомогательного генератора и якоря возбудителя, и дифференциальная *4*, через которую протекает ток главного генератора. Вспомогательный генератор МВГ-25/11 шестиполюсный, возбуждение — параллельное.

Возбудитель ВТ-275/120 представляет собой шестиполюсную машину с радиаль-

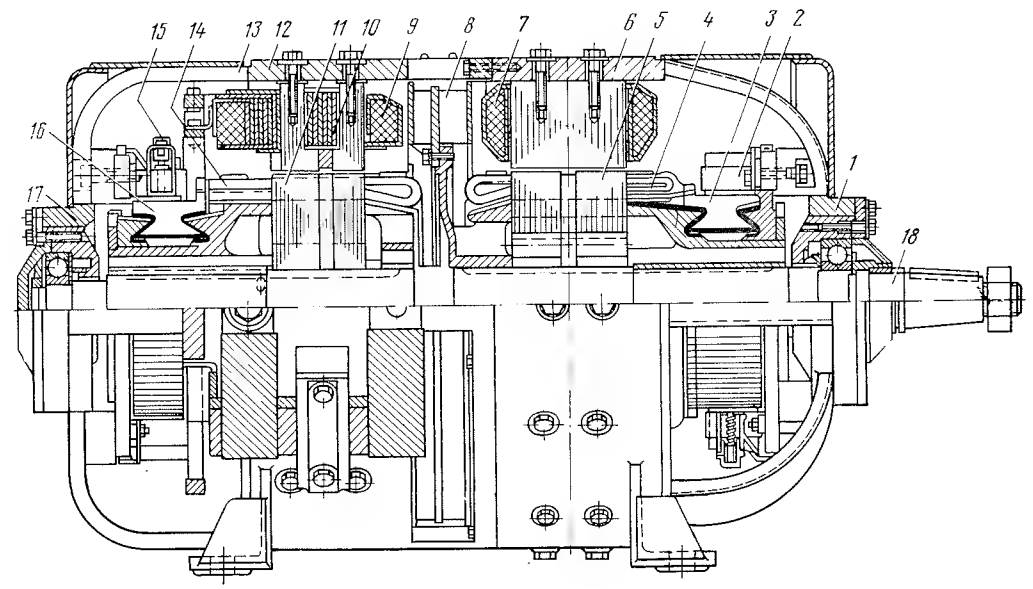


Рис. X-25. Продольный разрез двухмашинного агрегата с возбудителем МВТ-25/9 и вспомогательным генератором МВГ-25/11:

1, 17 — подшипниковый щит генератора; *2, 15* — щеткодержатели; *3, 16* — коллекторы; *4, 14* — обмотка якоря; *5* — якорь генератора; *6* — станина генератора; *7* — главный полюс генератора; *8* — вентилятор; *9* — параллельная обмотка возбуждения возбудителя; *10* — дифференциальная обмотка возбудителя; *11* — якорь возбудителя; *12* — станина возбудителя; *13* — подшипниковый щит возбудителя; *18* — вал

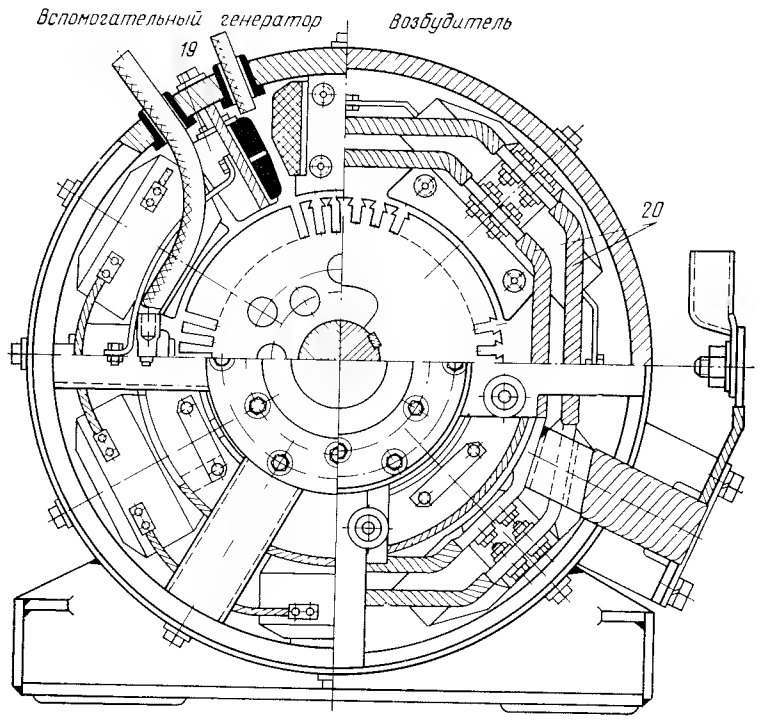


Рис. X-26. Поперечный разрез двухмашинного агрегата с возбудителем МВТ-25/9 и вспомогательным генератором МВГ-25/11:

19 — добавочный полюс генератора; *20* — соединительные кабели

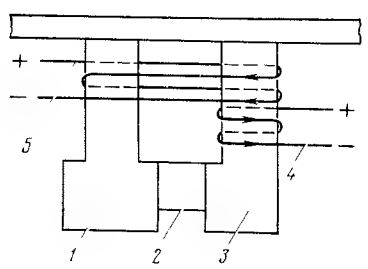


Рис. X-27. Схема расщепленного полюса:

1, 3 — части расщепленного полюса; *2* — латунная проставка; *4* — дифференциальная обмотка; *5* — независимая обмотка

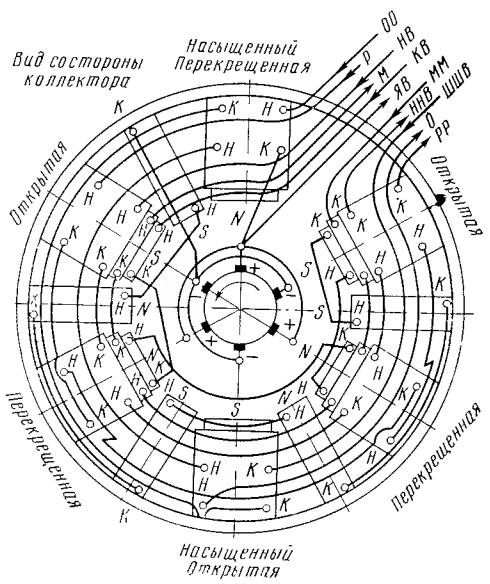


Рис. X-28. Схема соединения обмоток возбудителя ВТ-275/120:

ЯВ—КВ — обмотки якоря, дополнительных полюсов и последовательная; *ЯВ—ШШВ* — параллельная обмотка; *НВ—ННВ* — обмотка независимого возбуждения; *Р—РР* — регулировочная обмотка; *М—ММ* — ограничительная обмотка; *О—ОО* — дифференциальная обмотка

Таблица X-9

Основные технические данные возбудителей и вспомогательных генераторов двухмашинных агрегатов тепловозов

Показатели	Двухмашинный агрегат А-706*, А-706А и А-706Б		Двухмашинный агрегат		Двухмашинный агрегат	
	Возбудитель В-600*2	Вспомогательный*3 генератор ВГТ—275/120	Возбудитель МВТ-25/9	Вспомогательный генератор МВГ-25/11	Возбудитель ВТ-275/120	Вспомогательный генератор ВГТ-275/150
Серия тепловоза	2ТЭ10Л, ТЭП10Л, М62С, ТЭП60		ТЭМ2		ТЭ3	ТЭ7
Мощность, кВт	22,5	12	5,6	5,75	10	8
Напряжение, В	180	75	75	75	107	75
Ток, А	125	160	75	77	95	106
Частота вращения, об/мин	1800	1800	2000	2000	1800	1800
К. п. д., %	82,5	75	74	75	—	—
Габаритные размеры, мм	1135×635×685		940×555×485		1105×590×555	
Масса агрегата, кг	660		385		660	
Количество полюсов:						
главных	6	6	4	6	4+2	6
добавочных	5	5	—	6	5	5
Станина						
Материал	Ст3	Ст3	Ст2	Ст2	Ст3	Ст3
Диаметр наружный, мм	550	525	462	462	550	525
» внутренний, мм	490	490	428	420	490	490
Сечение, см²	67,5	77,5	40	34	67,5	45,12
Главные полюсы						
Материал сердечника	Ст2	Ст	Ст2	Ст2	Ст2/Э41*4	Ст2
Толщина средних листов, мм	2	2	2	2	2	2
Воздушный зазор под полюсом (односторонний), мм	1,5	1,5	2,0	1,0	2,0	2,0
Добавочные полюсы						
Марка стали сердечника	25Л-1	25Л-1	—	25Л-1	25Л-1	15Л-1
Размер сердечника, мм	17×150	17×150	—	17×76	17×150	16×150
Воздушный зазор односторонний, мм	3	3	—	1,5	3	2
Размер провода обмотки (неизолированного), мм	4,4×6,9	4,4×6,9	—	2,83×8	4,4×6,9	4,4×6,9
Марка провода	МГМ	МГМ	—	МГМ	МГМ	ПБД
Класс изоляции по нагревостойкости	В	В	—	В	В	А
Количество витков на полюс	17	17	—	20	17	17
Длина витка катушки, мм	387	387	—	216	387	387
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	0,0156	0,0195	—	0,0214	0,0195	0,0195
Масса меди с изоляцией, кг	9	9	—	5,3	8,9	8,9
Количество катушек	5	5	—	6	5	5
Якорь						
Диаметр внешний, мм	275	275	245	245	275	275
» внутренний, мм	80	80	63	63	80	80
Длина сердечника, мм	120	120	90	108	120	150
Материал сердечника	Э13П	Э13П	Э13П	Э13П	Э13П или Э11П	Э13П или Э11П
Толщина листов, мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Количество пазов	44	44	45	46	44	44

Показатели	Двухмашинный агрегат А-706*, А-706А и А-706Б		Двухмашинный агрегат		Двухмашинный агрегат	
	Возбудитель В-600*2	Вспомогательный*3 генератор ВГТ-275/120	Возбудитель МВТ-25/9	Вспомогательный генератор МВГ-25/11	Возбудитель ВТ-275/120	Вспомогательный генератор ВГТ-275/150
Высота паза, мм	28	28	22	29	28	28
Ширина » »	6,5	6,5	6,6	6	6,5	6,5
Размер провода (неизолированного), мм	1,16×5,1	1,16×5,1	1,16×6,9	1,56×5,1	1,16×5,1	1,16×5,1
Марка провода	МГМ	МГМ	ПДА	ПДА	МГМ	МГМ
Класс изоляции по нагревостойкости	В	В	А	А	В	В
Количество катушек	44	44	45	46	44	44
» витков на полюс	130 : 6	130 : 6	135 : 4	184 : 6	132 : 6	132 : 6
Шаг волновой обмотки:						
по пазам	1—8	1—8	1—11	1—8	1—8	1—8
по коллектору	1—44	1—44	1—68	1—32	1—44	1—44
Количество проводников в пазу	6	6	6	8	6	6
Количество параллельных проводников	1	1	1	1	1	1
Количество «мертвых» проводников	2	2	—	—	2	2
Длина витка, мм	620	620	625	530	620	720
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	0,0305	0,0305	0,0475	0,0538	0,033	0,036
Масса обмотки, кг	8,85	8,85	6,75	1,5	8,85	9,7
Коллектор						
Диаметр коллектора, мм	230	230	202	202	230	230
Длина » »	72	72	62	62	60	60
Количество пластин	130	130	135	92	130	130
Толщина межламельной изоляции, мм	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Размер коллекторной меди, мм	—	—	2,34×4,85×54	3,83×7,24×50	3,51×5,74×46	3,51×4,74×46
Щетки						
Марка щетки	ЭГ-14	ЭГ-14	ЭГ-14	ЭГ-14	ЭГ-14	ЭГ-14
Размеры щетки, мм	12,5×44×40	12,5×44×40	12,5×44×40	12,5×44×40	12,5×44×40	12,5×44×40

* Двухмашинные агрегаты А-706 устанавливались на тепловозы 2ТЭ10Л первых выпусков и ТЭП10Л, агрегаты А-706А устанавливают на тепловозы М62С и ТЭП60, агрегаты А-706Б — на тепловозы 2ТЭ10Л.

*2 Мощность, напряжение, ток и к. п. д. возбудителя В-600 указаны для тепловоза ТЭП60. Для тепловозов 2ТЭ10Л, М62С мощность — 20,6 кВт, напряжение — 165 В, ток — 125 А, к. п. д. — 84,5%.

*3 От контактных колец снимается переменный ток 10А напряжением 58 (мощность 0,5 кВт).

*4 В числителе — для ненасыщенного полюса, в знаменателе — для насыщенного.

ным расщеплением полюсов, из них четыре ненасыщенных и два насыщенных. На ненасыщенных полюсах размещены обмотки независимого возбуждения, регулировочная, ограничительная и последовательная; на насыщенных — параллельная и дифференциальная (рис. X-28).

Основные технические данные двухмашинных агрегатов приведены в табл. X-9, а обмоток главных полюсов возбудителей и вспомогательных генераторов — в табл. X-10 и X-11.

На тепловозах ТЭ109 и 2ТЭ116, имеющих электрическую передачу переменно-постоянного тока, установлены возбудители ВС-650В (рис. X-29 и X-30). Этот возбудитель представляет собой обращенную однофазную синхронную машину с явно выраженными полюсами. Включен возбудитель через выпрямительный мост. Исполнение возбудителя — защищенное, с самовентиляцией, на щитовых подшипниках качения, с одним свободным коническим концом вала.

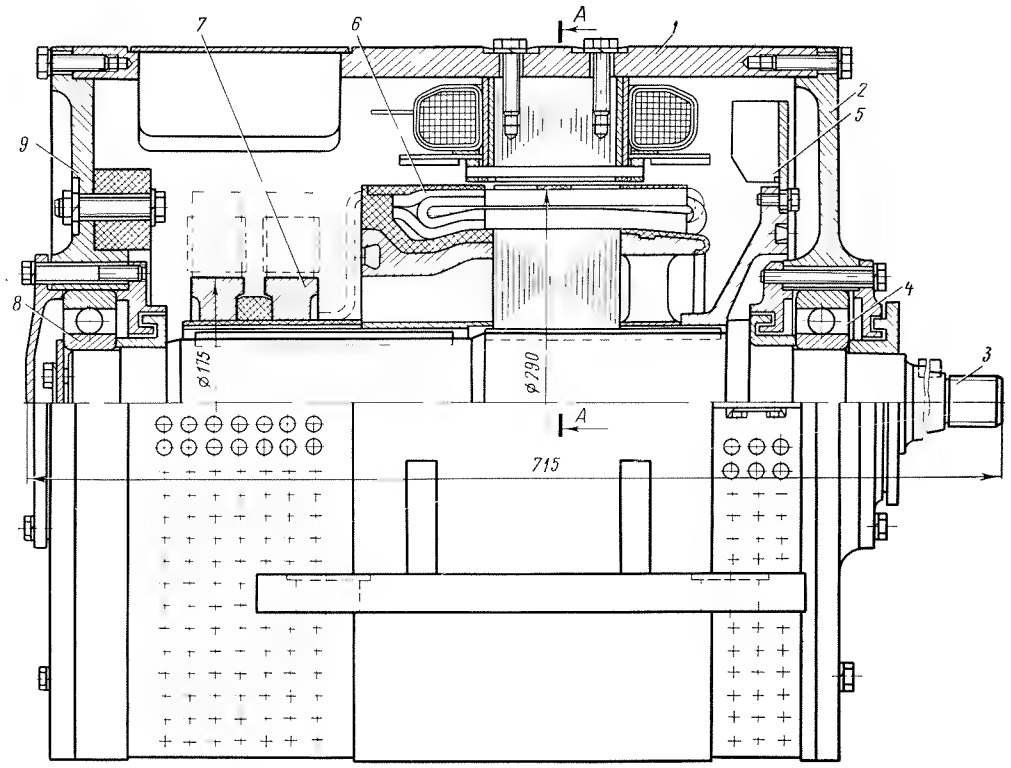


Рис. X-29. Продольный разрез возбудителя ВС-650 тепловозов ТЭ109 и 2ТЭ116:
1 — корпус; *2, 9* — подшипниковые щиты; *3* — вал; *4, 8* — подшипники; *5* — вентилятор; *6* — обмотка якоря; *7* — контактные кольца

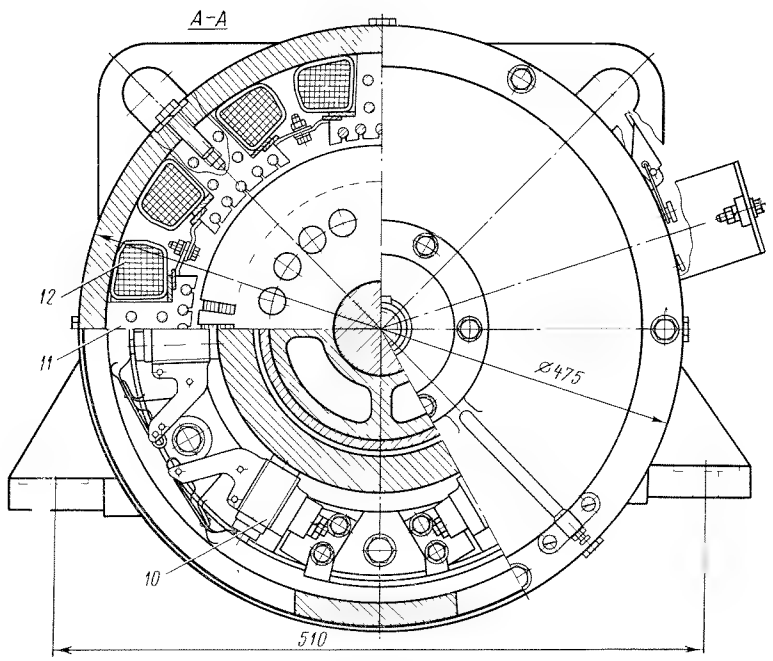


Рис. X-30. Поперечный разрез возбудителя ВС-650:
10 — щеткодержатель; *11* — сердечник полюса; *12* — катушка

Таблица X-10

Основные технические данные обмоток главных полюсов возбудителей и вспомогательных генераторов двухмашинных агрегатов тепловозов

Показатели	Возбудитель В-600 агрегатов А-706, А-706А и А-706Б		Вспомогательный генератор ВГТ-275/120 агрегатов А-706, А-706А и А-706Б	Возбудитель МВТ-25/9		Вспомогательный генератор МВГ-25/11
	Обмотка независимого возбуждения	Размагничивающая обмотка	Обмотка параллельного возбуждения	Обмотка параллельного возбуждения	Дифференциальная обмотка	
Марка провода	ПСД	ПСД	ПСД	ПБД	МГМ	ПБД
Диаметр или сечение провода, мм:						
неизолированного	1,95	1,35	1,95	1,95	2,63×45	1,5
изолированного	2,26	1,64	2,26	2.22	—	1,77
Класс изоляции по нагревостойкости	F	B	B	A	A	A
Количество витков на полюс	188	140	450	242	7	394
Количество катушек	6	6	6	4	4	6
Средняя длина витка, мм	430	500	500	550	261	448
Сопротивление при 20° С, Ом	2,85	5,14	7,3	3,14	0,000075	9
Масса меди, кг	14	6	35,5	14,5	10	18

Таблица X-11

Основные технические данные обмоток главных полюсов двухмашинных агрегатов, состоящих из возбудителя ВТ-275/120 и вспомогательного генератора ВГТ-275/150

Показатели	Обмотки главных полюсов возбудителя ВТ-275/120						Обмотки главных полюсов вспомогательного генератора ВГТ-275/150	
	Ненасыщенный полюс				Насыщенный полюс			
	независимого возбуждения	последовательная	регулировочная	ограничительная	параллельная	дифференциальная	параллельного возбуждения	последовательного возбуждения
Марка провода	ПБД	МГМ	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД	ПБД	МГМ
Диаметр или сечение провода, мм:								
неизолированного	1,5	3,05×12,5	1,81×5,1	1,95	1,35	4,1×5,5	1,95	3,05×12,5
изолированного	1,77	—	2,08×5,37	2,22	1,64	4,54×5,94	2,22	—
Класс изоляции по нагревостойкости	A	B	A	A	A	A	A	A
Количество витков на полюс	330	2	82	40	616	36	450	1
Количество параллельных проводников	1	1	1	1	1	1	1	1
Количество катушек	4	4	4	4	2	2	6	6
Средняя длина витка, мм	430	415	550	470	450	585	550	494
Сопротивление при 20° С, Ом	5,88	0,003	0,35	0,425	6,7	0,034	8,67	0,00138
Масса меди, кг	10	1,27	14,5	2,2	7,5	8,6	40,7	1

Основные технические данные возбудителя ВС-650В тепловозов ТЭ109 и 2ТЭ116:

Мощность	26 кВт
Напряжение	215/287 В
Частота	165/220 Гц
Ток	164/146 А*
Частота вращения	2470/3300 об/мин
К. п. д. при 3300 об/мин	75%
Количество главных полюсов	8
Режим работы	длительный
Станина	
Материал	Ст3
Диаметр наружный	475 мм
» внутренний	428 »
Сечение	87 см²
Главные полюсы	
Материал	Э11
Толщина листов	1,0 мм
Количество пазов для демпферной обмотки	5
Диаметр паза для демпферной обмотки (в свету)	8,0 мм
Воздушный зазор	2/4 »
Обмотка главного полюса	
Количество катушек	8
Марка провода катушек	ПДА
Размеры провода неизолированного	1,16×4,4 мм
То же изолированного	1,53×4,85 »
Класс изоляции по нагревостойкости	F
Количество витков на полюс	189
Количество параллельных проводов	1
Средняя длина витка	428 мм
Сопротивление всех катушек при 20° С	2,35 Ом
Плотность тока	4,5 А/мм²
Масса обмотки	28,2 кг
Демпферная обмотка	
Марка меди обмотки	МГМ
Диаметр проводника	8 мм
Длина стержня	119 »
Количество стержней на полюс	5
Масса обмотки	6 кг
Якорь	
Диаметр внешний	290 мм
» внутренний	95 »
Длина сердечника	85 »
Материал сердечника	Э43
Толщина листов сердечника	0,5 мм
Количество пазов	48
Размеры паза (в свету)	6,9×29 мм
Марка провода обмотки	ПДА
Размеры провода неизолированного	1,56×4,7 мм
То же изолированного	1,84×5,17 мм
Класс изоляции по нагревостойкости	F
Количество эффективных проводников в пазу	4
Количество параллельных проводников	3
Количество катушек	96
Материал вала	40*
Шаг обмотки	1—7—13
Средняя длина витка	575 мм
Сопротивление всех катушек при 20° С	0,0435 Ом
Масса обмотки	11,7 кг
Плотность тока в обмотке	7,05 А/мм²
Контактные кольца	
Диаметр колец наружный	175*² мм
Диаметр колец внутренний	112 »
Ширина	36 »
Материал	Х18Н9Т
Количество	2
Щеткодержатель и щетки	
Количество щеткодержателей	6
Количество щеток на машину	6
Размеры щетки	25×32×64 мм
Марка щетки	ЭГ4

* При кратковременном режиме длительностью 2 мин допускается ток 200 А при напряжении 240 В, частоте вращения 3300 об/мин.

*² На возбудителях первых выпусков установлены кольца диаметром 255 мм.

X-7. СИНХРОННЫЕ ПОДВОЗБУДИТЕЛИ И ТАХОГЕНЕРАТОРЫ ТЕПЛОВОЗОВ

На тепловозах 2ТЭ10, ТЭ10, ТЭП10, 2ТЭ10Л и ТЭП60 первых выпусков применены в качестве подвозбудителя переменного тока и тахогенератора синхронный генератор ГСВ-20 с возбудителем В-4Б или В-4БП, при этом возбуждение синхронного генератора осуществляется от вспомогательного генератора, а возбудитель используется как тахогенератор.

На тепловозах 2ТЭ10, ТЭП10, ТЭП60 в цепи подвозбуждения возбудителя применяются синхронный генератор ГС-500А и тахогенератор ТГ-83/35, объединенные в одном корпусе — однокорпусный агрегат А-705 (рис. X-31); на тепловозах 2ТЭ10Л, ТЭП10Л и М62 — однокорпусный агрегат А-705А. Агрегаты А-705 и А-705А различаются направлением вращения и приводом.

На тепловозах ТЭ3 установлен тахометрический агрегат А-703, в котором объединены два тахогенератора ТГ-83/100 и ТГ-83/45, обеспечивающие автоматическое регулирование мощности (ТГ-83/100) и ограничение пускового тока (ТГ-83/45).

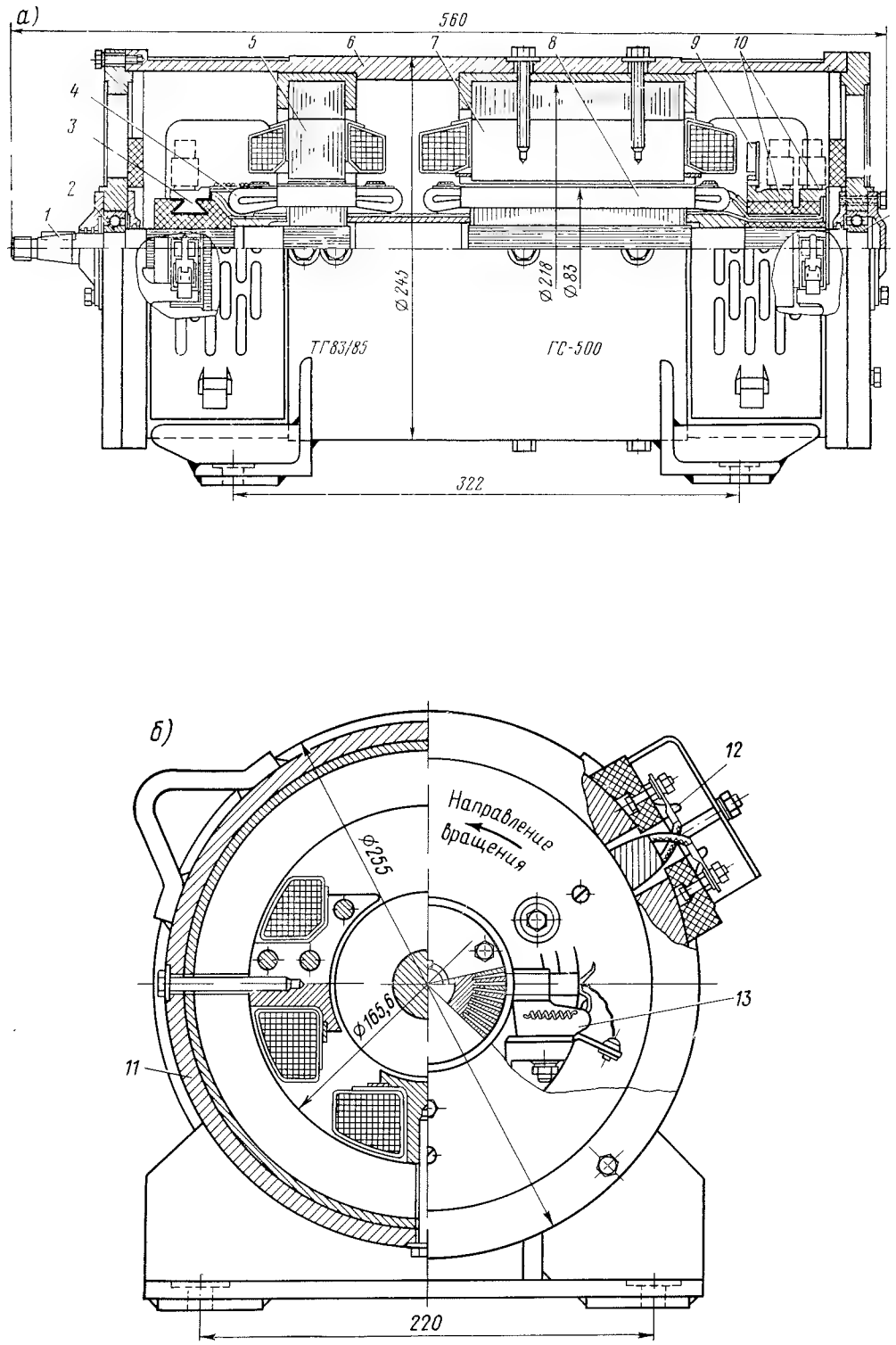


Рис. X-31. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы однокорпусного агрегата А-705А:
1 — вал; *2* — подшипник; *3* — коллектор тахогенератора; *4* — обмотка якоря тахогенератора; *5* — главный полюс тахогенератора; *6* — корпус; *7* — главный полюс синхронного подвозбудителя; *8* — обмотка якоря синхронного подвозбудителя; *9* — вентилятор; *10* — контактные кольца; *11* — станина; *12* — выводы; *13* — щеткодержатель

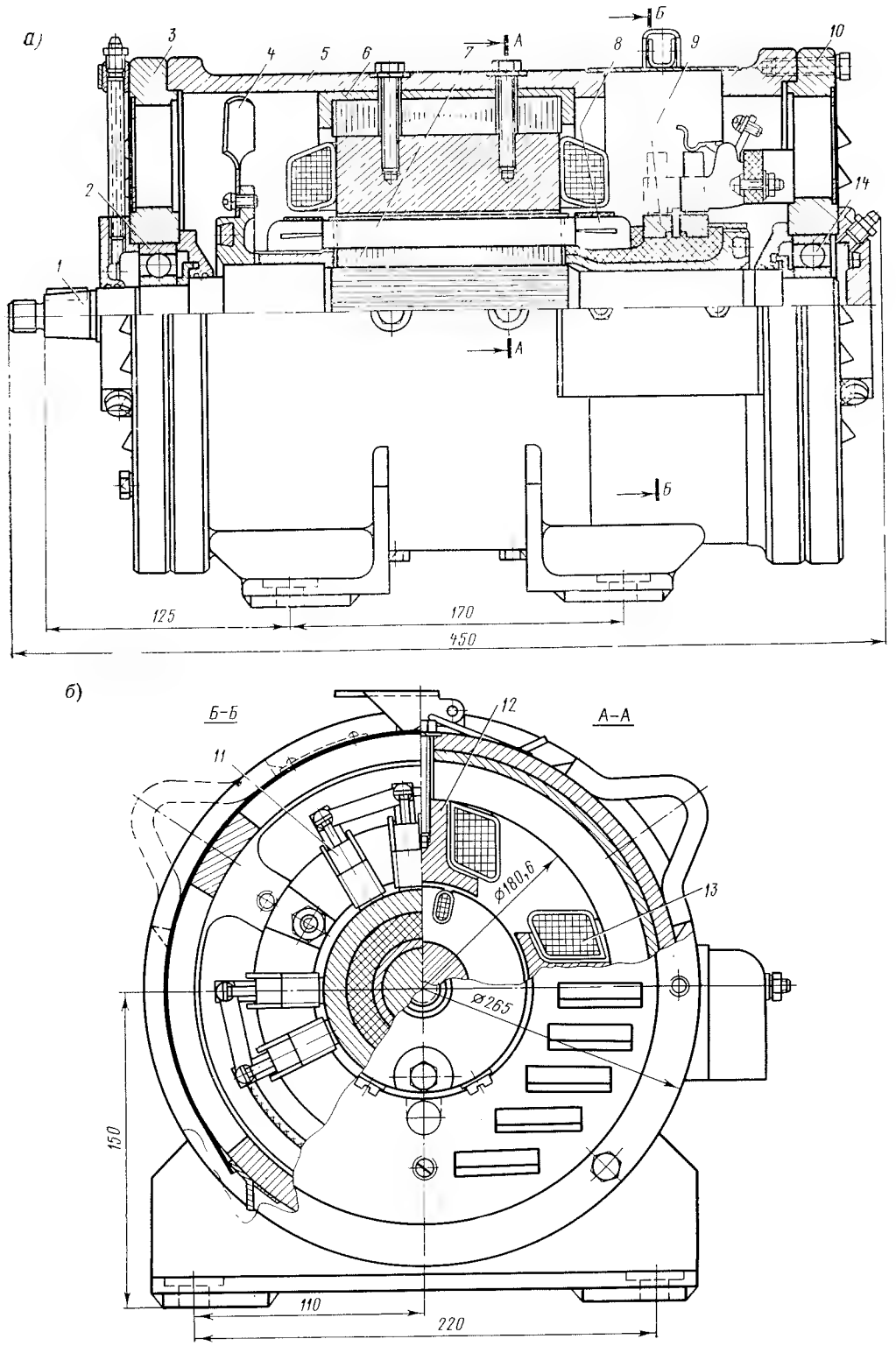


Рис. X-32. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы синхронного подвозбудителя ВС-652:
1 — вал; *2, 14* — подшипники; *3, 10* — подшипниковые щиты; *4* — вентилятор; *5* — корпус; *6* — магнитная система; *7* — якорь; *8* — обмотка якоря; *9* — контактные кольца; *11* — щеткодержатель; *12* — сердечник полюса; *13* — катушка полюса

Таблица X-12

Основные технические данные синхронных подвозбудителей

Показатели	Синхронные подвозбудители		
	ГСВ-20	ГС-500А	ВС-652
Мощность, кВА	20	1,1	1,1
Ток часового режима, А	69	11	—
» продолжительного режима, А	63	10	10
Напряжение, В	230	110	110
Частота вращения, об/мин	1500	4000	4000
Количество фаз	3	1	1
Частота, Гц	400	133	133
Коэффициент мощности (cos φ)	0,8	0,5	0,5
К. п. д.	0,82	0,55	0,52
Количество щеткодержателей	4	2	2
Диаметр контактных колец, мм	127	76	96
Подшипники	313	60 204	306
Корпус (станина)			
Материал	СЧ15-32	Ст3	—
Диаметр наружный, мм	560	245	265
» внутренний, мм	493	228	226
Длина, мм	204	151	327
Статор			
Марка стали	Э31	Э41	Э41
Толщина листа, мм	0,35	0,5	0,5
Диаметр наружный, мм	493	218	218
« внутренний, мм	450	165,6	180,6
Длина, мм	114	135	115
Количество пазов	168	—	—
Размеры паза, мм	4,9×13,5	—	—
Количество полюсов	32	4	4
Воздушный зазор, мм	0,8	1,3	1,3
Марка стали сердечника полюса	—	25Л1	25Л1
Обмотка статора			
Количество катушек	168	4	4
» витков в секции	1	—	—
» стержней в катушке	2	—	—
» эффективных проводников в пазу	2	—	—
Шаг по пазам	1—6	—	—
Сечение (или диаметр) провода, мм	1,68×3,05	1,35	1,35
Марка провода	ПБД	ПСД	ПЭТВ
Класс изоляции по нагревостойкости	А	В	В
Масса провода обмотки статора, кг	6	1,32	4,6
Количество витков на полюс	—	250	285
» слоев в катушке	—	17	—
Напряжение, В	—	30	—
Ротор			
Марка стали сердечника	Э11	Э31	Э31
Толщина листов сердечника, мм	1,0	0,5	0,5
Диаметр наружный, мм	450	83	98
» внутренний, мм	75	30	45
Длина сердечника, мм	115	135	115
Количество пазов	32	14	14
Размеры паза, мм:			
ширина	19,4	9	9
высота	20,5	16	16
размер щели	—	4	4

Продолжение табл. X-12

Показатели	Синхронные подвозбудители		
	ГСВ-20	ГС-500А	ВС-652
Обмотка ротора			
Количество витков в секции	60	16	—
» параллельных проводов	1	1	1
» параллельных ветвей	2	2	2
Количество эффективных проводников в пазу	60	32	32
Диаметр провода, мм:			
неизолированного	2,44	1,08	1,25
изолированного	2,80	1,37	1,36
Марка провода	ПСД	ПСД	ПЭТВ
Класс изоляции по нагревостойкости	В	В	В
Шаг по пазам	1—2	1—4	1—4
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	0,6 (1 фаза)	0,396	0,285
Щетки			
Марка	ЭГ-2а	ЭГ-8	ЭГ-8
Размеры, мм	10×16×25	10×12,5×32	10×12,5×32

Таблица X-13

Основные технические данные тахогенераторов тепловозов

Показатели	Тахогенераторы типов			
	ТГ-83/100	ТГ-83/45	ТГ-83/35	В-4Б, В-4БП
Мощность, кВт	0,624	0,120	0,120	1,30
Ток, А	8	10	5	21,7
Напряжение, В	78	12	24	60
Частота вращения, об/мин	4000	4000	4000	2860
К. п. д., %	80	49	60	—
Количество главных полюсов	2	2	2	4
» добавочных полюсов	—	—	—	4*
Воздушный зазор между главным полюсом и якорем, мм	1,3	1,3	1,3	1,2
Количество бракетов щеткодержателей	2	2	2	4
Количество щеток в бракете	1	1	1	1
Режим работы	Часовой	Кратковременный	Продолжительный	
Возбуждение	Независимое	Независимое	Независимое	—
Напряжение возбуждения, В	75	75	75	—
Станина (корпус)				
Материал корпуса	Ст3	Ст3	Ст3	Ст10
Диаметр корпуса, мм:				
наружный	245	245	245	212
внутренний	228	228	228	190
Материал листов магнитопровода и главного полюса:				
средних	Э-41	Э-41	Э-41	Э-11
крайних	Э-11	Э-11	Э-11	Ст3

Показатели	Тахогенераторы типов			
	ТГ-83/100	ТГ-83/45	ТГ-83/35	В-4Б, В-4БП
Толщина листов магнитопровода и главного полюса, мм:				
средних	0,5	0,5	0,5	1,0
крайних	1,0	1,0	1,0	—
Сечение сердечника главного полюса, мм	40×100	40×45	40×35	23×84
Диаметр магнитопровода, мм:				
наружный	218	218	218	—
внутренний	165,6	195,6	165,6	—
Длина магнитопровода, мм	100	45	35	—
Обмотка независимого возбуждения				
Количество витков на полюс	150	500	220	520
» катушек	2	2	2	4
Диаметр провода, мм:				
неизолированного	1,35	0,59	1,08	0,83
изолированного	1,64	0,66	1,37	0,92
Длина витка, мм	340	270	210	—
Марка провода	ПБД	ПЭВ-2	ПСД	ПЭВ-2
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	А
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	1,25	17,3	1,93	4,5
Масса обмотки, кг	1,34	0,68	0,8	—
Соединение катушек	Последовательное			В две параллельные ветви
Обмотка последовательного возбуждения				
Количество витков на полюс	13,5	30,5	—	—
Диаметр провода, мм:				
неизолированного	1,35	1,35	—	—
изолированного	1,64	1,64	—	—
Количество катушек*2	2	2	—	—
Марка провода	ПБД	ПБД	—	—
Длина витка, мм	530	250	—	—
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	—	—
Сопротивление обмотки при 20° С, Ом	0,175	0,094	—	—
Масса обмотки, кг	0,188	0,4	—	—
Соединение катушек	Последовательное		—	—
Якорь				
Диаметр сердечника, мм:				
наружный	83	83	83	100
внутренний	30	30	30	30
Длина сердечника, мм	100	45	35	80
Количество пазов	14	14	14	25
Размеры полузакрытого паза, мм:				
высота	16	16	16	17,5
ширина	8/9*3	8/9	8/9	4/8
размер щели	4	4	4	4
Марка стали сердечника	Э-31	Э-31	Э-31	Э-11
Толщина средних листов сердечника, мм:				
средних	0,5	0,5	0,5	0,5
крайних	1	1	1	2

Показатели	Тахогенераторы типов			
	ТГ-83/100	ТГ-83/45	ТГ-83/35	В-4Б, В-4БП
Обмотка якоря				
Тип всыпной обмотки		Петлевая		Волновая
Длина витка, мм	480	360	355	—
Количество эффективных проводников в пазу	32	16	32	16
Количество параллельных проводников	—	—	—	2
Шаг по пазам	1—8	1—8	1—8	1—7
» » коллектору	1—2	1—2	1—2	1—38
Диаметр провода, мм:				
неизолированного	1,08	1,08	1,25	1,2
изолированного	1,37	1,37	—	1,31
Марка провода	ПБД	ПБД	ПЭТВ	ПЭВ-2
Класс изоляции по нагревостойкости	А	А	А	А
Количество витков бандажа	2×25	2×25	2×25	2×15
Диаметр проволоки бандажа, мм	0,5	0,5	0,5	0,8
Сопротивление обмотки при 15° С, Ом	0,515	0,193	0,284	0,098
Масса меди, кг	0,91	0,34	0,946	—
Коллектор и щеткодержатели				
Диаметр коллектора, мм	70	70	76	71
Длина рабочей части, мм	20	20	20	26
Количество пластин	56	56	56	75
Толщина межламельной изоляции	1,0	1,0	1,0	—
Марка щетки	ЭГ-8	ЭГ-8	ЭГ-8	М6
Размеры щеток, мм	10×12,5×32	10×12,5×32	10×12,5×32	6,5×15×20
Нажатие на щетку, кгс	0,35—0,45	0,35—0,45	0,35—0,45	0,23—0,29

* Сердечники добавочных полюсов тахогенераторов В-4Б и В-4БП изготовлены из Ст3; их катушки выполнены из провода ПБД диаметром 2,1/2,37 мм; количество витков — 22; сопротивление обмотки 0,0115 Ом.

*2 Соединение катушек последовательное.

*3 В числителе — минимальная ширина паза, в знаменателе — максимальная.

В тепловозах ТЭ3 более ранних выпусков вместо тахогенераторов ТГ-83/100 и ТГ-83/45 применялись генератор ПН-5 (специального исполнения) и тракторный генератор Г-25Т/5.

На тепловозах 2ТЭ10Л, М62С, ТЭП60 вместо ГС-500А установлен синхронный подвозбудитель ВС-652 (рис. X-32), который представляет собой однофазную машину обращенного типа. Исполнение подвозбудителей — защищенное с самовентиляцией на щитовых подшипниках качения с одним свободным концом вала. Основные технические данные синхронных подвозбудителей приведены в табл. X-12, тахогенераторов — в табл. X-13.

X-8. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ, ПОЛУЧАЮЩИЕ ПИТАНИЕ ОТ ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ И ТЕПЛОВОЗОВ

Основные технические данные электродвигателей, получающих питание от цепи управления тепловозов (электродвигателей П-11, П-12, П-21, П-22, П-31, П-41) и электровозов (электродвигателей ДМК-1 и П-11М), приведены в табл. X-14. Конструкция электродвигателя ДМК-1 привода группового контроллера электровозов ВЛ60^{к}, ВЛ80^{к} и ВЛ80^{т} показана на рис. X-33.

Таблица X-14

Основные технические данные электродвигателей П и ДМК-1

Показатели	Электродвигатели												
	П-11		П-12	П-21				П-22		П-31	П-41	ДМК-1	П-11М
Мощность, кВт	0,5	0,2	1,0	0,5	0,5	1,4	2,2	1,22	0,9	2,2	4,2	0,5	0,5
Напряжение, В	75	75	110	75	75	75	75	75	75	75	64	50	50
Ток, А	9,9	4,2	11,8	9,4	9.3	23,8	36,7	21,8	16,1	36,7	84	14,4	14,8
Частота вращения, об/мин	2800	1740	3000	1450	1350	3100	3000	3300	1450	3000	2200	1400	2800
Количество полюсов:													
главных	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2
добавочных	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	—	1
Воздушный зазор:													
между главным полюсом и якорем, мм	0,7—0,85	0,7—0,85	0,7—0,85	0,8—0,88	0,8—0,88	0,8—0,88	0,8—0,88	0,8—0,88	0,8—0,88	0,8—0,88	0,8—1,0	0,68	0,7
между добавочным полюсом и якорем, мм	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,0	—	1,2
Масса машины, кг	17,0	17,0	21,8	34,8	34,8	34,8	34,8	40,8	40,8	50,5	78	42	18,5
Количество стержней щеткодержателя	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2
Количество щеток	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	8	4	4
Тип (номер) подшипника со стороны коллектора	302	302	302	304	304	304	304	304	304	305	307	—	—
То же со стороны, противоположной коллектору	304	304	304	305	305	305	305	305	305	307	307	—	—
Главные полюсы													
Ширина сердечника, мм	33	33	33	41	41	41	41	41	41	48	36	36	33
Длина, мм	50	50	75	55	55	55	55	80	80	75	85	102	50
Количество витков на полюс:													
параллельного возбуждения (марка провода ПЭТВ)	1750	1150	1850	1800	1800	1800	1400	1200	1100	2200	600	1260	850
последовательного возбуждения (марка провода ПСД)	12	—	11	18	18	10	16	14	12	5	2	—	—
Диаметр (или сечение) провода обмотки, мм:													
параллельного возбуждения	0,41	0,41	0,41	0,51	0,55	0,51	0,64	0,58	0,51	0,62	0,8	1,08	0,55
последовательного возбуждения	1,95	—	1,45	1,95	1,95	2,63	2,85	2,42	2,26	3,28×5,1	3,28×5,1	—	—
*Добавочные полюсы**													
Ширина сердечника, мм	20	20	20	24	24	24	24	24	24	26	20	22	20
Длина » »	40	40	65	40	40	40	40	65	65	55	65	80	40
Количество витков	116	175	126	142	142	78	78	88	103	50	17	58	70
Марка провода	ПЭТВ	ПЭТВ	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД	ПСД
Диаметр (или сечение) провода, мм	1,56	1,0	1,68	1,68	1,68	3,05	3,05	2,63	2,26	2,1×6,9	2,83×4,4	2,26	1,68
Якорь													
Диаметр сердечника: мм:													
наружный	83	83	83	106	106	106	106	106	106	120	138	83	83
внутренний	20	20	20	28	28	28	28	28	28	32	42	24	20
Длина сердечника, мм	50	50	75	55	55	55	55	80	80	75	85	107	53
Количество пазов	14	14	14	18	18	18	18	18	18	18	27	14	14
Ширина паза*[2], мм	10,6/8,2	10,6/8,2	10,6/8,2	11,12/8,44	11,12/8,44	11,12/8,44	11,12/8,44	11,12/8,44	11,12/8,44	12,6/9,8	14/8,36	10,6/8,2	10,6/8,2
Высота паза, мм	15,4	15,4	15,4	18	18	18	18	18	18	20	25,4	15,55	15,55
Шаг по пазам	1—8	1—8	1—8	1—10	1—10	1—10	1—10	1—10	1—10	1—10	1—8	1—7	1—8
» » коллектору	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2	1—2
Количество проводников в пазу	48	70	44	44	44	48	128	128	34	48	16	24	30
Диаметр провода, мм	0,93	0,62	1,0	0,93	0,93	1,08	1,32	1,32	1,25	1,25	1,45	1,35	1,08
Марка провода	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТВ	ПЭТСО	ПЭТВ	ПЭТВ
Диаметр проволоки бандажа, мм	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	—	—
Количество витков бандажа	14	14	14	18	18	18	18	18	18	18	18	—	—
Коллектор													
Диаметр коллектора, мм	54	54	54	80	80	80	80	80	80	90	100	56	54
Длина рабочей части, мм	35	35	35	38	38	38	38	38	38	43	48	32	35
Количество пластин	56	56	56	72	72	72	72	72	72	72	81	56	56

* Электродвигатели ДМК-1 выпуска начиная с 1973 г. добавочных полюсов не имеют.
*[2] В числителе — максимальная, в знаменателе — минимальная ширина паза.

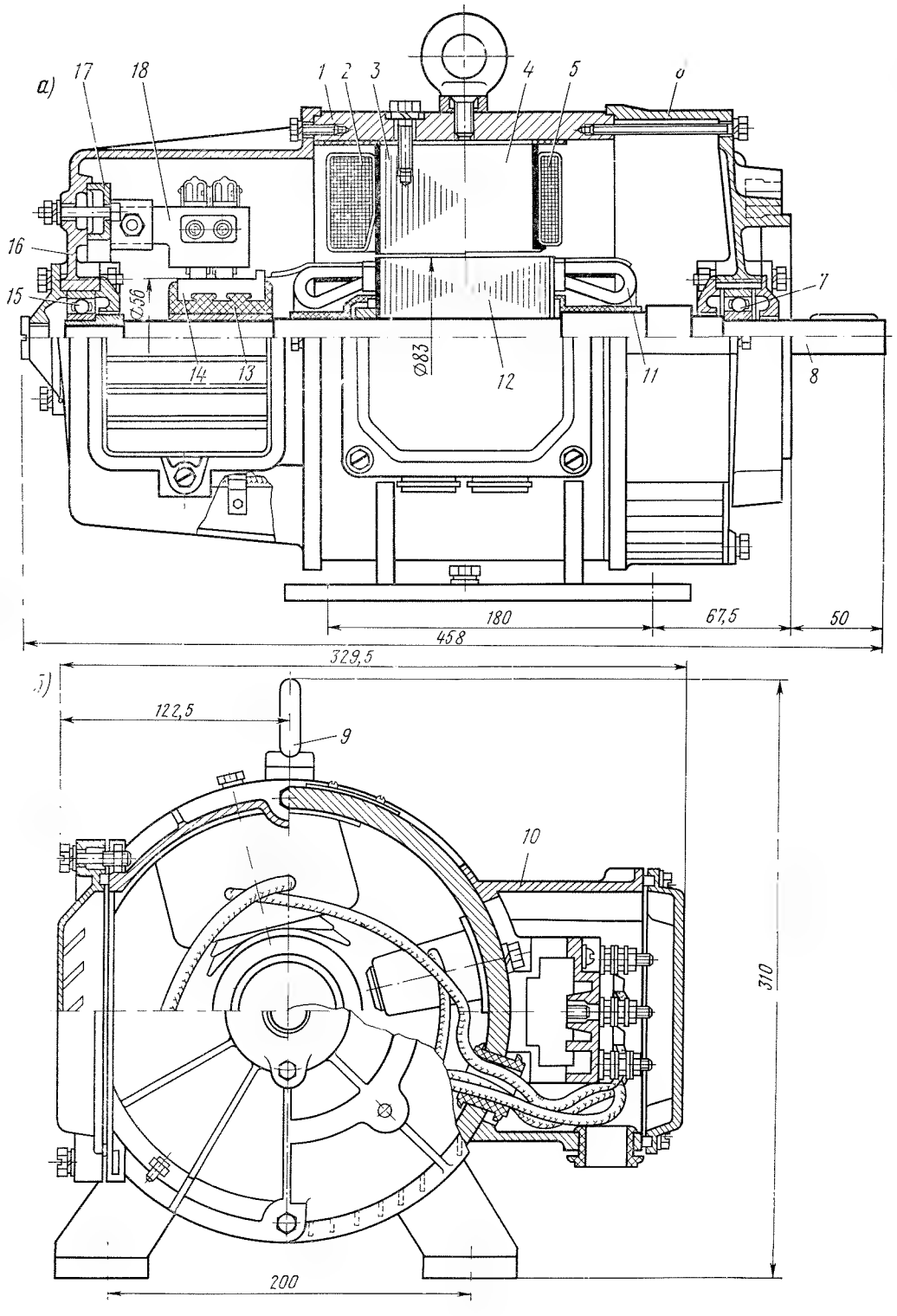


Рис. X-33. Продольный (*а*) и поперечный (*б*) разрезы электродвигателя ДМК-1:

1 — остов; *2* — катушка главного полюса; *3* — сердечник главного полюса; *4* — сердечник добавочного полюса; *5* — катушка добавочного полюса; *6, 16* — подшипниковые щиты; *7, 15* — якорные подшипники; *8* — вал; *9* — рым-болт; *10* — коробка выводов; *11* — обмотка якоря; *12* — сердечник якоря; *13* — корпус коллектора; *14* — коллектор (пластмассовый); *17* — траверса; *18* — щеткодержатель

АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Амортизаторы 129
Амплитуда обратного напряжения неповторяющегося 332
— — — повторяющегося 332

Б

Балансиры листовых рессор 149
Бандажи колесных пар тепловозов 151
— — — электровозов 101, 103
— тяговых двигателей 283
Болты коллекторные 284
Букса бесчелюстная 127, 128
— — поводкового типа 103, 106, 107
— осевая 103, 105, 106
— тепловозная 155, 157
— — с упругими упорами 156, 157
— челюстная 126, 128
Буксы дизель-поездов 174

В

Вал раздаточный 208, 209
— реверса унифицированной гидропередачи 208, 209
Валики балансирные 95
— рессор 149, 150
Валы двигателей тяговых 281
Вентили силовые высокочастотные 333
— — лавинные 329
— — неуправляемые 329, 335
— — таблеточные 333
Вентиляция двигателей тепловозов 315
— — электровозов 287
— — электропоездов 288
Вентиль электроблокировочный 239
Венцы зубчатых колес 130
Воздухораспределители автоматические 233, 234, 235, 236, 237
— электропневматические 233, 234, 238
Время включения тиристора 340
— выключения тиристора 340
— выпуска воздуха из тормозных цилиндров 230
— зарядки запасного резервуара 234
— — и подзарядки тормозов 247
— — магистрали 231
— наполнения тормозных цилиндров 230, 234, 249
— разрядки запасного резервуара 231
Втулка якоря 281
Вывод анодный 330
— катодный 330
— управляющий 330
Выключатели управления автоматические 239
— — пневматические 239
Выход штока тормозного цилиндра 246

Г

Гаситель колебаний фрикционный 113, 146, 148
Генератор тяговый ГП-300Б 303, 306
— — ГП-311Б 300, 301, 308
— — ГП-312 300, 304
— — ГС-501А 305, 306
— — МПТ-99/47А 302, 306, 308
— — МПТ-120/49 и МПТ-120/55А 306, 308
Гидромуфты 212
Гидропередача тепловозов типа L217 209
— — — Л60 209
— — унифицированная 202, 204, 205, 207, 208, 209
— дизель-поезда Д1 211, 214

— — — ДР1 210, 211
— — — ДР2 210, 211
Гидротрансформаторы 212, 213
Группы тиристоров ТД 346

Д

Давление в тормозных цилиндрах 230, 234, 239
— масла в магистрали 190, 239
— нагнетания 227
— наддува 188
— начала вспрыска 192
— сгорания максимальное 188
— эффективное среднее дизеля 36, 188
Двигатель АЭ92-4 компрессора 373
— А3432/4 компрессора 365, 367
— НБ-431А компрессора 365, 366
— НБ-430А и ТЛ-110 вентилятора 368, 376
— 2А 3432/4 вентилятора 377
— тяговый AL 4442пР 271
— — AL 4846еТ 255, 300
— тяговый GB 317/23а 295
— — ДК-106А, ДК-106Б 300
— — НБ-406А и НБ-406Б 285
— — НБ-412М 285
— — НБ-412К 260
— — НБ-420А и НБ-420Б 295
— — НБ-418К6 262, 263, 265, 285
— — РТ-51Д 277
— — РТ-113 и РТ-117 300
— — ТАО-649А1 и ТАО-649В1 295
— — ТЛ-2К 253
— — УРТ-110А 274, 300
— — ЭД-107А 312, 315, 321
— — ЭД-108 313, 321
— — ЭД-200Б 314, 315

Ж

Жесткость подвешивания буксового тележек прицепных вагонов электропоездов 117
— — центрального тележек прицепных вагонов электропоездов 117
— пружин буксового подвешивания электровозов 95
— — — — электровозов 149
— — — — вагонов моторных электропоездов 117
— — подвешивания центрального вагонов моторных электропоездов 118
— — — — — прицепных электропоездов 122
— рессор листовых электровозов 95
— — подвешивания буксового тепловозов 146
Жидкость рабочая гидропередач 213

З

Зазоры воздушные в генераторах переменного тока 307
— — — — тяговых 308
— — — двигателях асинхронных 374
— — — — компрессоров 369, 371
— — — — вентиляторов 378
— — — — тяговых тепловозов 317
— — — — — электровозов 262
— — между ограничителями отклонений кузова тепловоза 141
— — под главными полюсами 280
— — радиальные в подшипниках 262, 278
Законы распределения коэффициента сцепления 21
Защиты дизеля 198

И

Изоляция генераторов тяговых 306
Изоляция в двигателях тепловозов обмоток возбуждения и пусковой 309
— — — — полюсов 320
— — — — якоря 318
— — — э. п. с. коллекторных пластин 283, 290
— — — — нажимных шайб 283
— — — — обмотки якоря 282
— двигателей вентиляторов 368, 379, 380
— — — электровозов ЧС 382
— — компрессоров 369, 370, 375
— — — электровозов ЧС 371, 372
— — электронасосов 375
— двухмашинных агрегатов тепловозов 407, 408, 410
— мотор-генераторов 387, 388, 389
— расщепителей фаз 403
— тахогенераторов 416, 417
— токоведущих частей выпрямительных установок 354
Индукция в элементах двигателя 298
Интенсивность отказов 333

К

Катушки полюса главного 258, 266, 275, 280, 290, 293
— — добавочного 259, 267, 276, 281, 290
Клапаны тормозной системы 241
Классы тиристоров ТД 347
Колеса зубчатые гидропередач 203, 212
— — тепловозов 160
— — электровозов 103, 104, 107
— — электропоездов 130

К. п. д. электровозов переменного тока 6
— — — — постоянного тока 5
Кран машиниста усл. № 254 230, 233
— — — № 334-Э 231, 233
— — — № 394 231, 232
— — — № 395 231, 232
Краны тормозной системы 240
Кронштейн щеткодержателя 285

М

Манжеты изоляционные 284
Масло ГТ5б 211, 212
— турбинное 211, 212
Маркировка вентилей 354
Масса эквивалентная 15
Мотор-генератор НБ-436А 368, 384
Мощность агрегатов двухмашинных тепловозов 407
— возбудителя тепловозного 411
— генераторов тяговых 308
— двигателей асинхронных 374
— — вентиляторов 378, 381
— — компрессоров 369, 371
— — П и ДМК-1 418
— — тяговых тепловозов 316, 322
— — — э. п. с. на валу в режиме продолжительном 287
— — — — — — — — часовом 286
— — электропоездов 13
— двигателя тягового потребляемая 299
— — — полезная 299
— дизелей номинальная 188
— дизеля эффективная 36
— дизель-поездов 14
Колесная пара вагонов моторных 125, 126
— — — прицепных 126, 127
— — дизель-поездов Д1 172, 174
— — — ДР1 172
— — тепловоза ТЭП60 154, 155
— — — ТЭ3 151, 153
— — электровоза ВЛ8 97, 101
— — — ЧС2 103, 104
— — — ЧС4 103, 105
— — — унифицированная 99, 102
Колесные центры электровозов 99, 101, 102, 103
— — электропоездов 126
Коллекторы агрегатов двухмашинных 408
— генераторов тяговых 311
— двигателей вентиляторов 379, 382
— — компрессоров 370, 372
— — тяговых тепловозов 318
— — — э. п. с. 268, 278, 283, 290, 293
— — П и ДМК-1 419
— мотор-генераторов 387
— тахогенераторов 417
Коэффициент заполнения паза медью 298
— затухания гасителей гидравлических 111
— инерции вращающихся частей 15, 16
— использования мощности двигателя тягового 296
— мощности генератора управления 396
— — двигателей асинхронных 374
— — подвозбудителей синхронных 414
— — расщепителей фаз 402
— нажатия действительный рычажной передачи дизель-поездов 245
— — — — — электропоездов 246
— — тормозной колодки 24
— насыщения магнитной системы двигателя 296
— приспособляемости дизеля 36
— противовозбуждения 47
— рассеяния полюсов главных 297
— — — добавочных 297
— сцепления 19, 20, 24
— тормозной 23, 63
— устойчивости двигателя 296
К. п. д. агрегатов двухмашинных 407
— — — возбудителя тепловозного 411
— — — генератора тягового переменного тока 307
— — — — постоянного тока 308
— — — гидромуфты 41
— — — гидротрансформатора 41
— — — двигателей асинхронных 374
— — — — вентиляторов 378
— — — — компрессоров 369
— — — — тяговых тепловозов 316, 322
— — — мотор-генераторов 386
— — — подвозбудителей синхронных 414
— — — рычажной передачи дизель-поездов 245
— — — — — — электропоездов 246
— — — тахогенераторов 415
— — — тепловозов магистральных 8
— — — — маневровых 10
— — — установок выпрямительных 357
Мощность локомотива автономного касательная 39

— — — на ободе движущих колес 38
— максимальная, рассеиваемая охладителем силового диода 338
— мотор-генераторов 386
— номинальная электровоздухораспределителей 234
— обмоток тяговых трансформаторов 324
— подвозбудителей синхронных 414
— преобразователя трехмашинного 390
— расщепителей фаз 402
— тахогенераторов 415
— тепловозов магистральных 8
— — маневровых 10
— электровозов переменного тока 6
— — постоянного тока 5
— электропоездов 12
Муфта упругая 127, 128
— шарнирно-поводковая 160, 161

Н

Нагрузка линейная 297
— от оси на рельсы дизель-поездов 14
— — — — — тепловозов магистральных 8
— — — — — — маневровых 10
— — — — — электровозов переменного тока 6
— — — — — — постоянного тока 5
Нажатие на одну колодку тормозную 243, 244
— расчетное на тормозных колодках 243
— — чугунных тормозных колодок 250
Напор статический в коллекторной камере 252
Напряжение агрегатов двухмашинных 407
— вентилей ВЧ номинальное 333
— — загиба 331
— — классификационное 331, 339
— — лавинообразования 331
— — номинальное 331
— — обратное максимальное 331
— — пороговое 332
— — силовых кремниевых неуправляемых лавинообразования 335
— — — — — неповторяющееся 335
— — — — — номинальное 335
— — — — — повторяющееся 335
— в контактной сети 286
— возбудителя тепловозного 411
— возбуждения тахогенераторов 415
— выпрямительных установок питающее номинальное 357
— — — максимальное обратное 357
— выпрямленное номинальное 357
— генераторов тяговых 308
— — управления 395
— двигателей асинхронных 374
— — вентиляторов 378, 382
— — компрессоров 369, 371
— — П и ДМК-1 418
— — тяговых тепловозов 316, 322
— — — электровозов 286
— — — электропоездов 288
— корпусной изоляции реакторов сглаживающих 324
— лавинообразования тиристоров ТЛ 343
— линейное генератора управления синхронного 396
— мотор-генераторов 386
— неотпирающее максимальное тиристоров ТЧ 353
— неповторяющееся тиристоров ТБ 352
— номинальное реакторов переходных 323
— — тиристоров Т 341
— — электровоздухораспределителей 234
— отпирающее тиристоров ТЧ 353
— переключения максимальное 340
— повторяющееся тиристоров ТД 347
— подвозбудителей синхронных 414
— расщепителей фаз 402
— среднее межламельное 297
— тахогенераторов 415
— холостого хода обмоток трансформаторов 324
Насос центробежного фильтра 192
Насосы дизеля водяные 196
— — масляные 192
Норма расхода топлива 71, 72
— — электроэнергии 71, 72

О

Обмотка возбуждения независимого генератора тягового 309
— — — тахогенератора 416
— — последовательного тахогенератора 416
— демпферная возбудителя тепловозного 411
— — генераторов переменного тока 307
— компенсационная двигателя тягового 267, 281, 291, 294
— полюса главного возбудителя тепловозного 411
— пусковая генератора тягового 309

— ротора подвозбудителя синхронного 415
— статора подвозбудителя синхронного 414
— якоря двигателей тяговых тепловозов 317
— — — — э. п. с. 265, 282, 289, 292, 294
— — тахогенератора 417
Обмотки возбуждения мотор-генераторов 388, 389
— генераторов управления 396
Обозначения вентилей силовых 330
— тиристоров силовых 339
Оборудование тормозное дизель-поезда 225
— — локомотива двухсекционного грузового 220
— — — односекционного грузового 219
— — — — пассажирского 221
— — электровозов ЧС2 и ЧС4 222
— — электропоездов ЭР2 и ЭР9П 223
— — — ЭР22 224
Объем тока в пазу 297
Ограничители напряжения кремниевые симметричные 334
Опоры кузова тепловозов 142, 143, 144
— — электровозов 97, 98, 99, 101
Оси колесных пар электровозов 99, 102
— — — электропоездов 126
Остов двигателя тягового 256
Отношение передаточное зубчатых передач 5, 7
— — гидропередачи унифицированной 203
Отпуск тормозов 248, 249
Охладители вентилей 336, 337, 338

П

Падение напряжения прямое 332
— — — вентилей ВЧ 333
— — — — силовых неуправляемых кремниевых 335
— — — тиристоров Т 341
— — — — ТБ 352
— — — — ТЛ 346
— — — — ТД 350
— — — — ТЧ 353
Параметры тепловые 78
Передачи гидравлические двухпоточные 202
— — однопоточные 202
— — смешанные 202
— гидродинамические 201
— гидростатические 201
— рычажные дизель-поездов 245
— — тепловозов 242, 244
— — электровозов 243, 244
— — электропоездов 245
Передача тяговая тепловозов 8, 10, 158, 162
— — — с полым валом 160
— — электровозов 104, 107
— — электропоездов 127
Передача зубчатая электровозов переменного тока 7
— — — постоянного тока 5
Перекрытие полюсное 297
Перемещение упругое 19
Перепад давления в тормозной магистрали 247
Плотность тока в обмотках двигателей 298
Поводки муфты шарнирно-поводковой 160
— с резино-металлическими втулками 113
Подвешивание рессорное буксовое вагонов моторных электропоездов ЭР22 113
— — — — прицепных электропоездов 119, 122
— — — тепловозов ТЭ3 145, 147
— — — — 2ТЭ10Л, ТЭ109, 2ТЭ116 145, 148
— — — — ТЭП60 148, 152
— — — — ЧМЭ3 151, 152
— — — электровоза ВЛ8 92, 94
— — — — ВЛ60к и ВЛ60т 92, 94
— — — — ВЛ80к и ВЛ10 92, 95
— — — — ЧС2 92, 96
— — — — — ЧС4 92, 97
— центральное вагонов моторных электропоездов ЭР2 и ЭР9П 118, 120
— — — — — ЭР22 118, 120
— — — прицепных электропоездов 121, 122, 123
Подшипники буксовые дизель-поездов 173
— — тепловозов 154
— — электровозов 104
— — электропоездов 113
Подшипники моторно-осевые 278
— якорные 262
Полюсы главные агрегатов двухмашинных 407
— — возбудителя тепловозного 411
— — генератора тягового 309
— — двигателей вентиляторов 380, 383
— — — компрессоров 370, 372
— — — тяговых тепловозов 319
— добавочные агрегатов двухмашинных 407
— — возбудителя тепловозного 411
— — генератора тягового 309

— — двигателей вентиляторов 379, 382
— — — компрессоров 370,372
— — — тяговых тепловозов 320
Постоянная времени 79
— — эквивалентная 79
Потери в двигателе 25
— — — в меди всех обмоток 299
— — — — стали 299
— — — добавочные 299
— холостого хода в трансформаторе 324
Порядок включения воздухораспределителей 246
— работы цилиндров дизелей 188
Проверка веса поезда на трогание с места 74
— — — по длине приемо-отправочных путей 74
— — — — нагреванию тяговых двигателей 75
— — — — пусковому ускорению 75
— плотности тормозной сети 247
Превышение температуры 80, 81, 82
— — допустимое 81
Привод карданный тепловоза 217
— управления частотой вращения дизеля 190
Пружина тарельчатая 121
Пружины подвешивания дизель-поездов 168, 170
— — моторных вагонов электропоездов 117, 118
— — тепловозов 149
— — электровозов 95, 118
— тормозных цилиндров 242
Путь тормозной 59

Р

Разбеги колесных пар 157
Рама кузова дизель-поездов 174, 175
— — тепловоза ТЭ3 163, 164
— — — ТЭМ2 163, 165
— — — ТЭП60 163, 167
— — электровозов ВЛ60 108, 109
— — — ВЛ80к 108, 110
— — электропоездов 108, 111
— тележки дизель-поезда 167
— — КВЗ-ЦНИИ/Э 111, 115
— — моторного вагона электропоездов 108, 114, 115
— — тепловоза ТЭ3 131, 133, 134
— — — 2ТЭ116 133, 135, 137
— — — ТЭП60 133, 140
— — электровоза ВЛ8 89
Расположение цилиндров дизеля 188
Расход электроэнергии удельный 67
Реакторы переходные 323, 328
— сглаживающие 323, 324, 326, 327
Регулировка рессорного подвешивания 95
Редуктор осевой двухступенчатый 212, 214, 217
— — одноступенчатый 213, 215, 217
— тяговый 127, 129, 130
Режим движения поезда наивыгоднейший 71
— неустановившийся 330
— номинальный 330
— установившийся 330
Резервуары воздушные автотормозов 242
Рессоры тепловозов 145, 146, 148
— электровозов листовые 92, 96
— — люлечные 95, 97, 100
Ротор генератора переменного тока 307
— — управления синхронного 396
— двигателей асинхронных 375
— подвозбудителей синхронных 414
— расщепителей фаз 403
Рядность цилиндров дизеля 188

С

Сердечник полюса главного 266, 280
— — добавочного 267, 281
— якоря двигателя тягового тепловоза 317
— — — — э. п. с. 281, 289, 292
Сила нажатия колодок дизель-поездов 245
— — — электропоездов 245, 246
— сцепления 17
— — удельная 17
— тормозная при механическом торможении 23
— трения гасителей фрикционных 111
— тяги 17
— — касательная по сцеплению 38
Сила тяги касательная по первичному двигателю 39
— — — электровозов переменного тока 6
— — — — постоянного тока 5
— — расчетная при трогании с места тепловозов 75
— — — — — — — электровозов 74
— — тепловозов магистральных 8
— — — маневровых 10
— — удельная 17
— — электровозов переменного тока 6
— — — постоянного тока 5
Системы дизелей воздухоснабжения 194, 195
— — охлаждения 196, 197
— — подачи топлива 190
— — смазки 192
Скольжение двигателей асинхронных 374
Скорость окружная коллектора 297
— — якоря 297
— конструкционная тепловозов магистральных 8
— — — маневровых 10
— — электровозов переменного тока 6
— — — постоянного тока 5
— — электропоездов 12
— нарастания прямого напряжения тиристоров Т 341
— — — — — ТД 346
— — — — — ТЧ 353
— — — тока тиристоров Т 341
— — — — — ТД 346
— — — — — ТЧ 353
Скорость расчетная тепловозов грузовых 76
— — электровозов 76
— упругого скольжения 19
Смазка букс тепловозов 156
— подшипников моторно-осевых 280
— — якорных 262
Соединения уравнительные тяговых двигателей тепловозов 318
— — — — электровозов и электропоездов 289, 293
Сопротивление движению добавочное 21, 23
— — дополнительное 21, 22
— — основное 21
— —, способы уменьшения 22
— — удельное 21
— демпферного резистора двигателей вентиляторов 379, 382
— — — — компрессоров 369, 371
— — — мотор-генераторов 386
— обмоток тяговых двигателей общее 291
— состава удельное при трогании с места 74
— тепловое переходное вентиля 332
— — установившееся охладителя вентиля 338
— — — тиристоров Т 341
— — — внутреннее тиристоров ТБ 352
Сталь бандажная 126
Станина агрегатов двухмашинных 407
— генератора тягового 308
— тахогенераторов 415
Статор генераторов переменного тока 307
— — управления синхронных 396
— двигателей асинхронных 374
— подвозбудителей синхронных 414
— расщепителя фаз 402
Степень возбуждения двигателей тяговых тепловозов 316
— — — — э. п. с. 286
— компенсации реакции якоря 298
— сжатия 188
Схема соединения обмоток двигателя тягового AL 4846 264
— — — — — НБ-418К6 256
— — — — — РТ-51Д 276
— — — — — УРТ-110А 275
Схемы соединения вентилей в плече выпрямителя 355
— формирования электропоездов 12

Т

Тележка вагона моторного электропоездов 108, 111, 112, 113
— — прицепного электропоездов 108, 115, 116
— дизель-поездов движущая 168, 169
— — поддерживающая 168, 171
— тепловоза ТЭ3 131, 132
— — 2ТЭ116 131, 134, 135
— — ТЭП60 139
— — ЧМЭ3 141
— электровоза ВЛ8 89, 90
— — ВЛ60к 89, 91
— — ВЛ80к 89, 92, 93
Тепловыделение дизелей 196
Теплоемкость 79
Теплоотдача 79
Тиристоры 329
— быстродействующие ТБ 347, 352
— высокочастотные ТЧ 351, 353
— динамические ТД 346, 350
лавинные ТЛ 343, 346, 347
— серии Т 341
Ток аварийной перегрузки 332
— агрегатов двухмашинных 407
— вентиля ВЧ номинальный 333
— генераторов тяговых 308
— — управления 395
— двигателей асинхронных 374
— — вентиляторов 378, 382
— — компрессоров 369, 371
— — П и ДМК-1 418
— — тяговых тепловозов 316
— — — электровозов 287
— — — электропоездов 288
— длительный реакторов переходных 323
— номинальный вентилей неуправляемых 335

— — нагрузки в обмотках трансформаторов 324
— — обратный тиристоров Т 341
— — тиристоров Т 341
— — — ТЛ 346
— — — ТЧ 353
— машин трехмашинного агрегата 390, 391
— мотор-генераторов 386
— обратный 332
— — диодов ВЧ 333
— подвозбудителей синхронных 414
—, потребляемый из сети расщепителем фаз 402
— предельный тиристоров ТБ 352
— — — ТД 350
— рабочей перегрузки вентилей 332
— тахогенераторов 415
— ударный 332
— — диодов ВЧ 333
— — тиристоров ТБ 352
— — — ТД 350
— удержания тиристоров 340
— — тиристоров ТЧ 353
Торможение реверсивное 51
— реостатное 46
— соленоидное 51
Тормоз дисковый дизель-поезда 172
— электромагнитный рельсовый 51
Траверса щеткодержателей 269, 284
Трансформатор ОЦР-1000/25 324, 326
— ОЦР-5600/25 324, 325
— LTS-7,85/25 324, 326

У

Угол опережения подачи топлива 188
Уклон спрямленного участка пути 51
— пути эквивалентный 66
Уравнение движения поезда 15
— — — в удельных единицах 17
Усилия запрессовки деталей якоря 282
Ускорение при пуске электропоездов 12
Установка выпрямительная ВУК-4000 356, 359, 360
— — ВУК-60-4, ВУК-60-3 356, 358
— — RV10 359, 361
— — УВП-1 362, 364
— — УВП-3 363, 364
— кронштейнов буксовых поводков 138
Устройства возвращающие опор 144
— опорно-возвращающие 141
— противоосные 142

Ф

Фактор коммутации 298
— нагрева 298
Фильтры очистки топлива 190
Формулы для определения основного удельного сопротивления 22
Формула осевая тепловозов магистральных 8
— — — маневровых 10
— — электровозов переменного тока 6
— — — постоянного тока 5
Форсунка дизеля 192
Фильтры очистки масла 194

Х

Характеристика вентиля вольт-амперная 331
— — — классификационная 331, 339
— — — динамическая 331
— — — статическая 331
— внешняя выпрямительного агрегата 32
— гидроаппарата универсальная 42
— дизеля универсальная 37
— — экономическая 37
— кранов машиниста 231
— компрессоров 226
— электрической передачи тепловоза 37
Характеристики авторежима 239
— аэродинамические двигателей тяговых 252, 261, 264
— вентилей паспортные 331
— — проектные 331
— внешние дизелей 36
— вольт-амперные силовых диодов 332, 333, 334
— — — тиристоров 339, 342
— газотурбинных установок 37
— многопараметровые дизелей 37
— нагрузочные двигателей тяговых 252
— ограничительные дизелей 36
— передач тяговых тепловозных 37
— рекуперативного торможения э. п. с. постоянного тока 48
— — — — однофазно-переменного тока 49
— реостатного торможения 46
— тепловые 252
— тепловые генератора главного 82
— — обмотки якоря двигателя AL-4442 пР 80
— — — — — НБ-406 83
— — — — — НБ-412К 261
— — — — — НБ-418К 81
— — электрооборудования 78
— скоростные дизелей 33
— токовые генераторов главных 60, 61
— — электровоза ВЛ8 56
— — — — при рекуперативном торможении 58
— — — ВЛ80к 59
— — электровозов ЧС 56, 57
— тормозные электровоза ВЛ8 50
— — — ВЛ80т 48
— тяговые локомотива автономного 33
— — — — с гидропередачей 41
— — — — — электрической передачей 40
— — тепловоза ТГ102к 42
— — — ТЭ3 44
— — — ТЭ10 и 2ТЭ10Л 43
— — — ТЭП10 и ТЭП10Л 44
— — — ТЭП60, 2ТЭП60 45
— — электровоза ВЛ8 26
— — — ВЛ10 30
— — — ВЛ23 25
— — — ВЛ60к и ВЛ60р 33
— — — ВЛ80к 34
— — — ЧС2 27
— — — ЧС4 28
— частичные дизеля 36
— электромеханические дизелей тяговых 252, 254, 256, 315, 321
Холодильник дизеля 9, 10, 196

Ц

Цементация шестерен 107, 130
Централь двигателей тяговых 291, 294
Цилиндры изоляционные 284

Ч

Частота вращения агрегатов двухмашинных 407
— — возбудителя тепловозного 411
— — генератора переменного тока 307
— — — тягового 308
— — — управления 395
— — двигателей асинхронных 374
— — — вентиляторов 378, 382
— — — компрессоров 369, 371
— — — П и ДМК-1 418
— — — тяговых тепловозов 316
— — — — электровозов 287
— — — — электропоездов 288
— — коленчатого вала дизелей 188
— — машин трехмашинного агрегата 390, 391
— — мотор-генераторов 386
— — подвозбудителя синхронного 414
— — ротора расщепителей фаз 402
— — тахогенераторов 415
Число вентилей, включенных параллельно 355
— — — последовательно 354
— — общее в выпрямителе 355

Ш

Шайбы нажимные 282
— резино-металлические 168
Шестерни гидропередачи унифицированной 203
— тепловозов 160
— электровозов 107, 108
— электропоездов 130

Щ

Щетки агрегатов двухмашинных 408
— возбудителя трехмашинного агрегата 391
— генератора тягового 311
— — управления 397
— двигателей вентиляторов 379, 383
— — компрессоров 370, 372
— — тяговых тепловозов 319
— — — электровозов 284, 290, 293
— — — электропоездов 293
— мотор-генераторов 293
— подвозбудителей синхронных 415
— тахогенераторов 417
Щеткодержатель возбудителя тепловозного 411
— возбудителя трехмашинного агрегата 391
— генератора тягового 311
— двигателей тяговых тепловозов 319
— — — электровозов 284
— тахогенераторов 417
Щиты подшипниковые 256, 268, 273

Э

Э. д. с. реактивная 298
Эксцентриситет 280
Электронасосы 368, 381
Элементы резино-металлические буксового подвешивания тепловозов 148, 150

Я

Якорь генератора тягового 310
— — управления 395
— двигателей вентиляторов 378, 382
— — компрессоров 369, 372
— — П и ДМК-1 419
— машин трехмашинного агрегата 390, 391
— мотор-генераторов электровозов 386.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

I. Основные технические данные локомотивов и моторвагонного подвижного состава железных дорог СССР 4

II. Электрическая и тепловозная тяга 15

II-1. Законы движения поезда. Действующие силы и принципы расчета 15
II-2. Характеристики тягового режима локомотивов 24
II-3. Характеристики режимов электрического торможения локомотивов 45
II-4. Тяговые расчеты 51
II-5. Определение расхода энергии и топлива на движение поезда . . 65
II-6. Расчет веса состава 73
II-7. Проверка нагревания электротягового оборудования при работе поезда на линии 78
II-8. Использование мощности локомотивов 84

III. Механическая часть электровозов, электропоездов, тепловозов и дизель-поездов 89
III-1. Тележки электровозов . . . 89
III-2. Кузова электровозов . . . 108
III-3. Тележки электропоездов . . . 108
III-4. Кузова электропоездов . . . 131
III-5. Тележки тепловозов . . . 131
III-6. Кузова тепловозов 163
III-7. Тележки дизель-поездов . . . 167
III-8. Кузова дизель-поездов . . . 174

IV. Дизели тепловозов и дизель-поездов 176

V. Гидравлические передачи тепловозов и дизель-поездов 201
V-1. Классификация гидропередач, их основные технические данные и требования, предъявляемые к ним 201
V-2. Конструкция гидропередач . . 202

VI. Тормозное оборудование электроподвижного состава, тепловозов и дизель-поездов 218
VI-1. Классификация тормозов и схемы тормозного оборудования . . 218
VI-2. Компрессоры 226
VI-3. Приборы управления . . . 230
VI-4. Приборы торможения . . . 233
VI-5. Краны, клапаны и резервуары 239
VI-6. Тормозные рычажные передачи 242
VI-7. Эксплуатация тормозов . . . 246

VII. Тяговые двигатели и главные генераторы 252
VII-1. Общая часть 252
VII-2. Характеристики тяговых двигателей 252
VII-3. Элементы конструкции тяговых двигателей э. п. с. 252
VII-4. Основные технические данные тяговых двигателей э. п. с. . . 285
VII-5. Конструктивные особенности тяговых двигателей э. п. с. отдельных типов и их модификаций . . . 285
VII-6. Особенности конструкции и основные технические данные главных генераторов 300
VII-7. Тяговые двигатели тепловозов 307

VIII. Тяговые трансформаторы, сглаживающие и переходные реакторы 323
VIII-1. Тяговые трансформаторы . 323
VIII-2. Реакторы 323

IX. Силовые преобразовательные установки 329
IX-1. Классификация полупроводниковых вентилей. Основные понятия 329
IX-2. Силовые диоды, применяемые в преобразовательных установках э. п. с. 330
IX-3. Силовые тиристоры, применяемые в преобразовательных установках э. п. с. 339
IX-4. Технические требования к силовым преобразовательным выпрямительным установкам э. п. с. и условия их работы 354
IX-5. Особенности схем выпрямителей 354
IX-6. Особенности конструкции выпрямительных установок электровозов и моторных вагонов 356

X. Вспомогательные машины электроподвижного состава и тепловозов . . 365
X-1. Мотор-компрессоры, мотор-вентиляторы и электронасосы электроподвижного состава 365
X-2. Мотор-генераторы (преобразователи) электроподвижного состава 368
X-3. Генераторы управления электроподвижного состава 391
X-4. Делители напряжения электропоездов 397
X-5. Расщепители фаз электроподвижного состава переменного тока 401
X-6. Двухмашинные агрегаты тепловозов 401
X-7. Синхронные подвозбудители и тахогенераторы тепловозов 411
X-8. Электродвигатели, получающие питание от цепи управления электровозов и тепловозов 417
Алфавитно-предметный указатель . . 421

Андрей Игнатьевич Тищенко,
Игорь Петрович Исаев,
Николай Иванович Панов,
Владимир Борисович Медель,
Анатолий Николаевич Савоськин,
Владимир Николаевич Хлебников,
Юрий Стефанович Шаульский,
Иван Федорович Семичастнов,
Владимир Иванович Крылов,
Михаил Дмитриевич Находкин,
Светлана Николаевна Красковская,
Борис Николаевич Тихменев,
Андрей Васильевич Каменев,
Григорий Григорьевич Гомола

СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМУ СОСТАВУ, ТЕПЛОВОЗАМ И ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДАМ

Редактор *И. К. Петушкова*

Обложка художника *А. А. Медведева*

Технический редактор *Н. Д. Муравьева* Корректор *А. Н. Конева*

Сдано в набор 25/III 1975 г. Подписано к печати 24/III 1976 г.
Бумага 70×108 1/16 типографская № 2. Печатных листов 27
(условных 37,8) Учетно-изд. листов 43,9 Тираж 17 000 Т-02487
Изд. № 1-2-1/5 № 3203 Зак. тип. 256 Цена 2 р. 53 к.
Изд-во «Транспорт», Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
г. Москва, И-41, Б. Переяславская ул., дом 46